

Université Montpellier II

Ecole doctorale SIBAGHE

UMR Biologie et génétique des interactions plante-parasites

Habilitation à diriger des Recherches

présentée par

Marie-line CARUANA

Chercheur au Cirad, UMR BGPI

Diversité, évolution et contrôle des virus des plantes tropicales :

L'ennemi peut aussi venir de l'intérieur.

Soutenue le 30 juin 2015, devant le jury composé de :

Claude Bragard – Rapporteur – Professeur Université Catholique de Louvain la Neuve, Belgique

Michel Dron – Rapporteur- Professeur Université Paris Sud UMR IBP, Paris

Sylvie German-Retana – Rapporteur – Inra UMR BFP, Bordeaux

Jean-Loup Notteghem – Examineur – Professeur SupAgro Montpellier

Anne-Nathalie Volkoff – Examineur – Inra UMR DGIMI, Montpellier

Remerciements

Et voilà, çà c'est fait ! Le dernier point est posé..., tu vois Monique j'y suis arrivée. Merci de ta persévérance et de ton soutien quotidien tenace et indéfectible.

Ce document ne serait pas également sans tous les acteurs à savoir les techniciens -chercheurs-étudiant(e)s avec qui j'ai travaillé, échangé, bataillé parfois durement, toutes ces années, et qui ont tous contribué à me faire évoluer et avancer, car sans évolution et remise en question point de progression. UN grand, grand et immense MERCI !!

Merci plus particulièrement à Serge et Nathalie, mes compagnons de carrière, de m'avoir accompagnée au cours de ces nombreuses années et surtout de m'avoir toujours témoignée votre soutien en répondant avec autant de motivation et d'humour à mes exigences, en supportant sans faille mon caractère et ma dynamique parfois je l'avoue, fatigante.

Un merci sincère et exclusif aux personnes qui m'ont toujours fait confiance avant moi-même et qui m'ont accompagnée en toutes circonstances, fidèlement et qui pour certains sont devenus des amis; ils se reconnaîtront mais je tiens à remercier chaleureusement Jacky Ganry, Xavier Mourichon, qui ont été les premiers à m'initier à l'agronomie tropicale et au monde de la banane. Ils ont dès le début, au-delà des distances et malgré le charisme et la forte personnalité de mon directeur de thèse, su trouver les mots et « pancartes » :=) pour m'encourager et me communiquer leur enthousiasme de la recherche au CIRAD et, Jean-louis Sarah du petit fruité, qui m'a avec esprit et humour permis de sourire de tout.

J'ai eu également ce privilège que je souhaite à bon nombre d'entre vous d'avoir fait au cours de ma carrière des rencontres bienveillantes qui m'ont faite grandir. Je remercie particulièrement Michel Dron de m'avoir fait escalader les sommets du management et de la stratégie scientifique sans cordes ni filets, et les présidents des deux mandatures du Conseil Scientifique du Cirad auxquelles j'ai participées, Bernard Chevassus et Bertrand Hervieux, pour les débats et discussions enrichissants et stimulants, leur enthousiasme et leur vision de l'agronomie et de la recherche que j'ai eu la chance de partager. Je les remercie également pour leur bienveillance et écoute attentive vis à vis de la position de vice-présidente que j'ai occupée.

Enfin un grand merci à ma famille si compréhensive pour l'empiètement régulier pour ne pas dire débordements sur les soirées-weekends et autres, du travail à la maison, à mes enfants qui restent la meilleure de mes productions, celle dont je suis avant tout la plus fière et à mon mari pour sa présence, son silence, sa patienceson analyse si exacte et ses conseils limités mais toujours précieux. *A mes parents pour leur présence et leur confiance.*

Préambule

Après des années de résistance à la pression environnementale souvent diffuse, irrégulière et contre laquelle j'avais développé un cluster de gènes propice à une résistance incontournable, durable et n'impactant pas ma fitness, j'ai cédé à une pression locale forte qui me conduit aujourd'hui à vous présenter ce dossier d'HDR.

Au commencement une envie, puis une curiosité et ensuite un partage et un grand bain dans l'immensité de la connaissance. L'ensemble de ma carrière est ainsi fortement marqué par la recherche du juste équilibre entre la conduite d'activités de recherche de qualité reconnues et la coordination-animation de la science au sein de collectifs. Les diverses fonctions et responsabilités que j'ai assumées en témoignent et montrent un parcours rythmé par des temps de « respiration scientifique », indispensables entre deux postes institutionnels de coordination de la science, qui m'ont permis de toujours œuvrer au plus près de la réalité des équipes de recherche avec l'objectif de contribuer plus efficacement aux évolutions stratégiques scientifiques institutionnelles.

Je me suis donc essayée à l'exercice afin que mon dossier témoigne tant de la production scientifique régulière, de la coordination de projets (Projet Européen de recherche Paradigm, Membre comité évaluation STSM (Short term scientific mission) pour le projet COST) et d'animations scientifiques (coordination de congrès), que de participations à des instances scientifiques (Conseil scientifique CIRAD, EDD ANR, INRA Centre de Montpellier) et de mobilisation sur des postes à enjeux élevés (partenariat CIRAD/INRA, Déléguée Scientifique auprès du Directeur Scientifique pour le champ de la défense des cultures au CIRAD- MIDE, Directrice adjointe de l'UMR BGPI), la participation à des commissions d'évaluations et des groupes de réflexion (commissions CIRAD, IPM-Europe pour la France, GT « Europe » et « lettre de mission et d'objectif »). Je n'ai pas traité ici de mon parcours d'expert terrain qui est également une des finalités de la recherche la moins souvent présentée mais qui reste pour moi, une activité extrêmement enrichissante qui permet d'appréhender les besoins et attentes réels de nos partenaires.

Je n'ai jamais envisagé d'activité de recherche sans collaborations et j'ai toujours eu le souhait de partager et de transférer mon savoir et savoir-faire. J'ai ainsi co-encadré durant ma thèse une étudiante libanaise en DEA, puis formé et encadré deux étudiants chinois et c'est donc tout naturellement que j'ai continué au CIRAD. J'ai ainsi formé très régulièrement en début de carrière de nombreux chercheurs et agents techniques, puis progressivement encadré des étudiants de premiers, deuxième et troisième cycle ainsi que des jeunes chercheurs sur des contrats post-doctoraux. J'ai depuis plus de 15 ans la responsabilité scientifique du projet de l'équipe de recherche que je dirige aujourd'hui constituée de deux chercheurs et trois techniciens (un plein temps et deux mi-temps) et qui s'intéresse à la biodiversité des badnavirus endogènes et exogènes 2B2E.

Sommaire

Avant propos

Remerciements	3
Préambule	4
<i>1^{ère} Partie : Dossier scientifique</i>	7
1- Curriculum Vitae	9
2- Liste des travaux	13
2-1 Articles publiés dans les revues à facteur d'impact (ACL-FI)	13
2-2 Articles publiés dans les revues à comité de lecture, sans facteur d'impact (ACL)	15
2-3 Articles publiés dans les revues sans comité de lecture	15
2-4 Chapitres d'ouvrage scientifiques (OS-CHAPITRE)	15
2-5 Conférences-Communications sur invitations (C-INV)	16
2-6 Conférences communications publiées dans des actes (C-ACT)	16
2-7 Conférences-Communications Orales (C-COM)	17
2-8 Conférences-Communications par affiches (C-AFF)	22
2-9 Rapport diplômant	27
2-10 Production non académique : Rapport d'expertises - Documents techniques - Rapport de mission (AP) ..	27
2-11 Production non académique – Rapport de projets – rapport d'unité	29
3- Travaux encadrés	30
<i>2^{ème} Partie : Activité de Recherche</i>	37
A- Activité de recherche	41
1- Etiologie et diagnostic des maladies virales tropicales	41
1-1 Une thèse en virologie tropicale (sept 1985- déc 1989)	41
1-2 Une expérience de recherche/développement en virologie tropicale (déc 1989 – juillet 1996)	43
☐ Les virus des bananiers	43
☐ Les virus des agrumes	45
1-3 Une expérience de recherche en partenariat et en expatriation (sep 1996 – fév 1999)	47
a- Projet intégratif « Etude des interactions Bemisia/bégomovirus/plantes maraîchères » - Partenariat INRA ..	47
b- « Les virus des bananiers, contrainte pour l'amélioration génétique » – collaboration généticiens CIRAD	49
2- Origine de l'émergence virale sur plantes tropicales - Projet Transversal	54
2-1 Animation et coordination scientifique institutionnelle en Défense des plantes	54
2-2 Programme de recherche pluridisciplinaire sur les séquences pararétrovirales endogènes	54
3- L'étiologie de l'émergence mondiale du BSV et son contrôle – Projet de recherche	55
3-1 La problématique	55
3-2 Eléments de contexte	57

3-3 Le projet et les principaux résultats	59
❑ Caractérisation des intégrations virales infectieuses du bananier	59
❑ Distribution des intégrations virales pour les 3 espèces BSV au sein de <i>M. balbisiana</i>	61
❑ Distribution des intégrations virales pour les 3 espèces BSV au sein des <i>Musacées</i>	63
❑ Maintien des eBSV au sein des <i>Musacées</i> coût/bénéfice	63
❑ Changement de paradigme et « succes story » pour la création variétale	65
B- Perspectives	67
1- Retracer l’histoire évolutive du BSV (fig. 17 point 1 -2 -3)	69
❑ eBSV et <i>Musa balbisiana</i>	69
❑ Réalité d’eBSV infectieux chez <i>M. acuminata</i>	70
❑ Vitesse d’évolution des populations BSV	70
2- Retracer l’histoire évolutive <i>Musa</i>	70
❑ eBSV marqueur de phylogénie <i>Musa</i> : linéages diploïdes <i>M. balbisiana</i> et hybrides interspécifiques	70
❑ Réalité et explication d’une sélection positive des allèles infectieux.....	71
3- Les épidémies BSV : fiction ou réalité (fig. 17 point 4).....	72
Références Bibliographiques.....	73

1^{ère} Partie : Dossier scientifique



1- Curriculum Vitae

FONCTION	<p>Française</p> <p>23/12/1960</p> <p>Mariée, 2 enfants</p> <p>CIRAD, UMR BGPI Campus international de Baillarguet 34398 Montpellier Cedex 5 France Téléphone : +33 4 99 62 48 13 Fax : +33 4 99 62 48 08 Adresse électronique : marie-line.caruana@CIRAD.fr</p> <p>Docteur en virologie des plantes</p>
	<p>Responsable d'équipe de recherche et membre du collège de direction de l'UMR</p> <p>Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement Systèmes biologiques- CIRAD</p> <p>UMR Biologie et génétique des interactions plantes-parasites – BGPI</p> <p>Disciplines : Virologie Infectiologie / Maladies infectieuses Génomique et post-génomique</p> <p>Filières : Bananiers et plantains Agrumes, Cultures maraîchères</p> <p>Thématiques : Maladies émergentes Biodiversité Biotechnologies</p> <p>Expertises en Afrique Centrale; Afrique de l'Est ; Afrique du Nord; Amérique Centrale; French West Indies; Amérique Latine; Bassin Méditerranéen.</p>
COMPETENCES	<p>• Trois Domaines de compétences scientifiques en Phytovirologie</p> <ol style="list-style-type: none">1. Interactions hôtes-pathogènes : expression, évolution et contrôle de séquences pararétrovirales intégrées dans le génome des plantes ou EPRV -modèle d'étude le virus de la mosaïque en tiret des bananiers ou BSV /eBSV/bananier.2. Etiologie, diversité et épidémiologie des maladies virales (cucumovirus, potyvirus, potexvirus, babuvirus, closterovirus, begomovirus et badnavirus).3. Gestion des risques virologiques en contexte épidémique viral, des cultures tropicales d'intérêt agronomique (filière bananière, agrumes, cultures maraichère, ...).

• **Compétences stratégie scientifique : gestion d'équipes de recherches et coordination de la recherche**

1- Direction d'unité mixte de recherche : Directrice Adjointe de l'UMR BGPI Biologie et Génétique des Interactions Plantes-pathogènes. (4 ans, de 2006 à 2010)

Gestion scientifique, financière humaine et opérationnelle des agents (90 personnes) et structures en appui au Directeur. Unité certifiée iso 9001-2000 depuis 2007 en recherche, formation et expertises.

2- Animation d'équipes de recherche : Responsable de l'équipe 2B2E« Biodiversité des badnavirus endogènes et exogènes» (12 ans, depuis 2002)

En charge de la dynamique scientifique de l'équipe intégrant un processus qualité et bonne pratique de laboratoire. Problématique de recherche axée sur la structuration et les origines de la diversité génétique des badnavirus pour deux pathosystèmes, le CSSV (virus du gonflement des tiges) sur cacaoyer et le BSV (virus de la mosaïque en tirets) sur bananier.

3- Elaboration de stratégies scientifiques : Déléguée Scientifique Défense des cultures MIDECE auprès du Directeur Scientifique du CIRAD (2,5 ans, 1998 à 2001)

Orientation des recrutements (environ 60 dossiers défendus) lors de la relance stratégique de 2000-2001 du CIRAD (recrutement 140 agents) devant permettre de renforcer le champ disciplinaire de la défense des cultures et appuyer la stratégie scientifique proposée.

4- Formatrice de chercheurs étrangers et d'étudiants.

- Encadrements de chercheurs Post-Doctoral, d'étudiants de 1er, 2ème et 3ème cycle (Doctorants)

- Formation de chercheurs et Techniciens

• **Compétences dans la gestion de projets scientifiques**

Elaboration, mise en place, coordination scientifique et administrative – rapports – suivi budgétaire

1. **Projet Agropolis** plateforme avancée (2002-2006) Phase I et II – 150 KEuros
2. **Projet européen** (2002-2006) 5ème PCRD INCO Dev BETOCARIB « Begomovirus disease management for suitable production of tomato in the Caribbean» ICA4-2001-10002 Coordinatrice scientifique – 800 KEuros
3. **Projet européen** (2002-2006) 5ème PCRD - PARADIGM « Pararetrovirus : diseases, integration and genomes» QLK3-CCT-2002-02098 – Coordinatrice – 1,78 MEuros
4. **Projet Genoscope** (2005-2010) - « Sequencing and molecular mapping of EPRV-BSV in banana”- Coordinatrice
5. **Projet CIRAD** (2006-2008) - action thématique programme ATP ARNi 02/06 “L’interférence ARN (RNAi), une méthode pour l’induction de la résistance chez la plante et l’animal» Coordinatrice – 130 KEuros
6. **Projet COST** (2009-2013) « Plant virus control employing RNA-based vaccines : A novel non-transgenic strategy » Action FA0806 – un des 25 membres, et un des 3 membres évaluateurs des demandes « short term scientific mission » STSM.
7. **Projet CGIAR - CRP Root, tubercules and banana** (2013-2017) « BBTD containment and recovery: Building capacity and piloting field recovery approaches through a learning alliance ». Coordinatrice action Pays (Congo Brazza) et Organisatrice Atelier de formation au « Diagnostic maladie virales des bananiers et production de semences saines » (10 jours/20 personnes) – CIRAD 250 KEuros /ans
8. **Projet d'unité UMR BGPI** (2006-2010/2011-2014) – Mise en œuvre de la politique scientifique de l'unité de recherche /chargée d'animer la réflexion du projet scientifique de l'unité.

• **Compétences dans l'organisation d'animation scientifique**

- × **Atelier « All about EVE»** 6 au 8 octobre 2014 Montpellier (conférences et programmation scientifique - 15 scientifiques et techniciens CIRAD et INRA)
- × **Projet CRP RTB (CGIAR)-Atelier « Diagnostic maladie virales des bananiers et production de**

semences saines » du 15 au 25 juillet 2014 - Montpellier (20 scientifiques de 8 pays d'Afrique sub-saharienne)

- × **Cost FA0806-Final WGs & MC meeting** du 11 au 14 septembre 2013- Presqu'île de Gien (40 scientifiques de 25 pays européens)
- × **Atelier « Séquences virales endogènes des plantes »** 2 au 8 décembre 2011 Guadeloupe (conférences et programmation scientifique - 20 scientifiques et techniciens CIRAD et INRA)
- × **Cost FA0806 WGs & MC meeting** du 12 au 14 septembre 2011- Montpellier (conférences - 40 scientifiques de 25 pays européens)
- × **Atelier « De l'analyse de la diversité vers l'étude de l'évolution des agents pathogènes, santé végétale et animale » CIRAD** 2-3 décembre 2010 – (conférences - 50 scientifiques équipes CIRAD)
- × **1^{er} Workshop « Hands on BBTB »** août 1990 (deux semaines laboratoire et conférences – 15 scientifiques Australie, Philippines, Taiwan, Belgique) – INIBAP.
- × **Réunions annuelles** des divers projets coordonnées (de 20 à 30 personnes).

• **Autres compétences**

- × **Membre élue Conseil Scientifique du CIRAD et Vice présidente** pour deux mandatures – 2006-2009 et 2009-2012
- × **Membre nommée Conseil Scientifique Centre INRA** de Montpellier – 2008-2011
- × **Membre nommée CS ANR EDD** 2009-2013, **ANR EDD** défi 5 pour 2013, 2014, 2015
- × **Membre commissions CIRAD** changement de catégorie (catégorie 8) depuis 2007
- × **Membre de commissions CIRAD** évaluation individuelle en 2010, 2011 et 2014
- × **Participation régulière** à différents groupes de **Réflexions stratégiques CIRAD** depuis 15 ans (dossier Europe, Stratégie institutionnelle, Restructuration, Management unités de recherche et équipes, Lettre de contractualisation annuelle « objectifs et moyens » entre direction et unité de recherche (GT1 et GT2), etc...)
- × **Responsable du VIC** (Virus Indexing Centre) d'INIBAP (International Network for the Improvement of Banana and Plantain) nouvellement BIOVERSITY International pour le programme international **Musa germplasm exchange MGE** (24 ans).
- × **Expert extérieur Anses.**

FORMATION

1989 Docteur en Virologie - Université Bordeaux II (1989) - UER de Biochimie et Biologie Cellulaire
« Contribution à l'étude du virus associé à la maladie du Bunchy top des bananiers. » au Laboratoire de Biologie Cellulaire et Moléculaire du Pr.JM. BOVE BCM/INRA – Bordeaux (France).

Mention très honorable avec les Félicitations du jury

1985 DEA Biochimie, Microbiologie : option Pathologie et Virologie. Université Bordeaux II France
Mention Bien – 2^{ème} /16

1984 Maîtrise de génétique et physiologie – Université de Bordeaux II

1983 Licence de biochimie – Université de Bordeaux II

1982 DEUG Sciences de la vie – Université Paul Sabatier de Toulouse

1980 Concours PCM1

1978 BAC série D mention assez bien – Albi (Tarn)

**PARCOURS
PROFESSIONNEL**

01/2011 et actuel : CIRAD-BIOS - Montpellier France

- × Membre du collège de Direction UMR BGPI
- × Responsable équipe 2B2E « Biologie des badnavirus endogènes et exogènes » (deux chercheurs, 1,8 ETP techniciens, quatre thésards, deux masters, 2 licences)

01/2006 - 12/2010 : CIRAD-BIOS - Montpellier France

- × Directrice Adjointe UMR BGPI (environ 75 permanents et 25 non permanents)
- × Responsable de l'équipe 2B2E« Biodiversité des badnavirus exogènes et endogènes »

(deux chercheurs, 2,5 ETP techniciens, trois thésards, quatre masters)

03/2001 - 12/2006 : CIRAD AMIS - Montpellier France

- × Responsable équipe «Détection, variabilité et expression des badnavirus endogènes et exogènes»
(un chercheur, 1ETP technicien, trois post Doc, un ingénieur de recherche, un thésard, deux masters)
- × Chercheur Phytovirologue plantes tropicales
- × Coordinateur Scientifique du projet INCO-Dev : BETOCARIB (2001-2006) ICA4-2001-10002
- × Coordinateur du projet 5ème PCRD: PARADIGM (2002-2006) QLK3-CCT-2002-02098

11/1998 - 02/2001 : CIRAD-DG - Montpellier France

× *Déléguée Scientifique Défense des cultures*

1. Coordination scientifique de près de 90 chercheurs dont la moitié en expatriation.
2. Générer une dynamique autour du concept de la Protection Intégrée/IPM en interne CIRAD et au niveau européen via le réseau IPM-Europe. Représentant français IPM Europe.
3. Contribuer à alimenter les réflexions scientifiques pour le champ disciplinaire de la défense des cultures auprès du Directeur Scientifique CIRAD.

× *Activité de recherche (2ETP techniciens, un thésard, un chercheur post doctoral)*

01/1996 - 01/1999 : CIRAD-FLHOR - Pointe-à-Pitre Guadeloupe

- × Responsable du laboratoire mixte de virologie INRA-CIRAD à l'INRA-URPV (Unité de recherches en production végétales)
(un chercheur post doctoral, 1ETP technicien, deux masters)
- × Responsable du Service de Virologie à Montpellier (France) (2 ETP techniciens)

01/1993 - 01/1996 : CIRAD-FLHOR - Montpellier France

Responsable du Service Virologie - Chargée de l'animation scientifique virologie du département FLHOR (2ETP techniciens, 4 masters)

12/1989 - 01/1993 : IRFA puis CIRAD-FLHOR - Montpellier France

Chargée du Laboratoire de virologie

Depuis le 01/1990 - actuel: Responsable du VIC (Virus Indexing Centre) d'INIBAP (International Network for the Improvement of Banana and Plantain) nouvellement BIOVERSITY International.

REFERENCES

Evaluateur d'articles de recherches pour des revues internationales à comité de lecture: Virology, Archives of Virology, Virus Research, Phytoparasitica, Plant disease, Annals of Botany, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, Molecular Plant Pathology, Pest management, Journal of Virological Methods, Virus Genes, Infection, Genetics and Evolution, Current Opinion ...

Evaluateur de projets de recherche : ANR, NWO Netherlands Organisation for Scientific Research, AIRD, Bill Gates, INRA.

Evaluateur de projets : société de diagnostic plante animal QUALIPLANT pour le concours Languedoc Rousillon Incubation

Promotion 2011 de l'EPMRA (Ecole pratique de Management de la recherche agronomique INRA)

DISTINCTIONS SCIENTIFIQUES ET HONORIFIQUES

2011 - Chevalier de l'Ordre national du Mérite.

2006 – Chevalier du Mérite Agricole

2- Liste des travaux

La présentation de l'ensemble de mes travaux, a été organisée selon la nomenclature AERES. Ma production scientifique en début de carrière a été très variée en lien avec les missions du CIRAD et plus précisément avec celles qui m'avaient été confiées par la direction du département IRFA/FLHOR visant une reconnaissance internationale du CIRAD en virologie des bananiers et agrumes. Elle s'est en majorité traduite à cette période par des rapports d'activités et d'expertises, des communications en congrès et des chapitres de livre en accord avec une activité de recherche à vocation diagnostic et transfert de connaissances/formation sur différents pathogènes (virus et viroïdes). La position de Délégué Scientifique pour la mission Midec (Mission défense des cultures) que j'ai occupée par la suite a été une transition qui m'a permis de recentrer mon activité de recherche sur un nombre réduit de modèles, et de m'inscrire dans une démarche scientifique linéaire basée sur des encadrements de thèse et la production systématique de publications. La politique de recherche développée au CIRAD ces dernières années a contribué à renforcer cette évolution de publication dans des revues de Rang A.

2-1 Articles publiés dans les revues à facteur d'impact (ACL-FI)

1. Rajeswaran R., Seguin J., Chabannes M., Duroy P.-O., Laboureau L., Farinelli L., Iskra-Caruana M.-L., Pooggin M.M. 2014 Evasion of siRNA-directed antiviral silencing in *Musa acuminata* persistently infected with six distinct banana streak pararetroviruses. *Journal of Virology* 88 (19) : 11516-11528 <http://dx.doi.org/10.1128/JVI.01496-14>
2. Iskra-Caruana M.-L., Chabannes M., Duroy P.-O., Muller E. 2014 A possible scenario for the evolution of Banana streak virus in banana. *Virus Research* 186 :155-162, <http://dx.doi.org/10.1016/j.virusres.2014.01.005>.
3. Iskra-Caruana M.-L., Duroy P.-O., Chabannes M., Muller E. 2014 Different partners involved in a common story. *Infection, Genetics and Evolution*, 21 : 83-89, <http://dx.doi.org/10.1016/j.meegid.2013.10.013>
4. Mukwa, L. F. T., Muengula, M., Zinga, I., Kalonji, A., Iskra-Caruana M.-L., and Bragard, C. 2014. Occurrence and distribution of Banana bunchy top virus related agro-ecosystem in south western, Democratic Republic of Congo. *American J. Plant Sci.* 5:647-658.
5. Seal S., Turaki A., Muller E., Kumar L., Kenyon L., Filloux D., Galzi S., Lopez-Montes A., Iskra-Caruana M.-L. 2014 The prevalence of badnaviruses in West African yams (*dioscorea cayenensis-rotundata*) and evidence of endogenous paraetrovirus sequences in their genomes. *Virus Research* 186 : 144-154, <http://dx.doi.org/10.1016/j.virusres.2014.01.007>
6. Umber M., Filloux D., Muller E., Laboureau N., Galzi S., Roumagnac P., Iskra-Caruana M.-L., Pavis C., Teycheney P.-Y., Seal S. 2014 The genome of African yam (*Discorea cayenensis-rotundata* complex) hosts endogenous sequences from four distinct badnavirus species. *Molecular Plant Pathology* 15(8): 790–801 <http://dx.doi.org/10.1111/mpp.12137>
7. Chabannes M., Baurens F.-C., Duroy P.-O., Sidibe-Bocs S., Vernerey M.-S., Rodier-Goud M., Barbe V., Gayral P., Iskra-Caruana M.-L. 2013. Three infectious viral species laying in wait in the banana genome. *Journal of Virology*, 87 (15) : 8624-8637 <http://dx.doi.org/10.1128/JVI.00899-13>
8. Chabannes M., Iskra-Caruana M.-L. 2013 Endogenous pararetroviruses – a reservoir of virus infection in plants. Virus replication in animals and plants. *Current Opinion in Virology*, 3 (6) : 615-620 <http://dx.doi.org/10.1016/j.coviro.2013.08.012>
9. Muller E., Dupuy V., Blondin L., Bauffe F., Daugrois J.H., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2011. High molecular variability of sugarcane bacilliform viruses in Guadeloupe implying the existence of at least three new species. *Virus Research*, 160 (1-2) : 414-419 <http://dx.doi.org/10.1016/j.virusres.2011.06.016>
10. Côte F., Galzi S., Folliot M., Lamagnère Y., Teycheney P.Y., Iskra-Caruana M.-L. 2010. Micropropagation by tissue culture triggers differential expression of infectious endogenous *Banana u* of endogenous sequences of *Banana streak virus*: what can we learn from banana (*Musa* sp.) evolution? *Molecular*

11. Gayral P., Blondin L., Guidolin O., Carreel F., Hippolyte I., Perrier X., Iskra Caruana M.-L. 2010. Evolution of endogenous sequences of *Banana Streak Virus*: what can we learn from banana (*Musa* sp.) evolution? *Journal of Virology*, **84** (14): 7346-7359. <http://dx.doi.org/10.1128/JVI.00401-10>
12. Iskra-Caruana M.-L., Baurens F.C., Gayral P., Chabannes M. 2010. A four-partner plant-virus interaction: enemies can also come from within. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, **23** (11) : 1394-1402 <http://dx.doi.org/10.1094/MPMI-05-10-0107>
13. Gayral P., Iskra-Caruana M.-L. 2009. Phylogeny of *Banana streak virus* reveals recent and repetitive endogenization in the genome of its banana host (*Musa* sp.). *Journal of Molecular Evolution*, **69** (1) : 65-80 <http://dx.doi.org/10.1007/s00239-009-9253-2>
14. Staginnus C., Iskra-Caruana M.-L., Lockhart B.E.L., Hohn, Richert-Poeggeler K.R. 2009. Suggestions for a nomenclature of endogenous pararetroviral sequences in plants. *Archives of Virology*, **154** (7) : 1189-1193 <http://dx.doi.org/10.1007/s00705-009-0412-y>
15. Gayral P., Noa-Carrazana J.C., Lescot M., Lheureux F., Lockhart B.E.L., Matsumoto T., Piffanelli P., Iskra-Caruana M.-L. 2008. A single *Banana streak virus* integration event in the banana genome as the origin of infectious endogenous pararetrovirus. *Journal of Virology*, **82** (13) : 6697-6710 <http://dx.doi.org/10.1128/JVI.00212-08>
16. Iskra-Caruana M.-L., Galzi S., Laboureau N. 2008. A reliable IC One-step RT-PCR method for the detection of BBMV to ensure safe exchange of *Musa* germplasm. *Journal of Virological Methods*, **153** (2) : 223-231 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jviromet.2008.06.028>
17. Lheureux F., Laboureau N., Muller E., Lockhart B.E.L., Iskra-Caruana M.-L. 2007. Molecular characterization of *Banana streak acuminata Vietnam virus* isolated from *Musa acuminata siamea* (banana cultivar). *Archives of Virology*, **152** : 1409-1416 <http://dx.doi.org/10.1007/s00705-007-0946-9>
18. Iskra-Caruana M.-L., Le Provost G., Acina I.N., Teycheney P.Y. 2006. Improved detection of episomal banana streak viruses by multiplex immunocapture PCR. *Journal of Virological Methods*, **137** (1) : 7-13 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jviromet.2006.05.021>
19. Teycheney P.Y., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L., Candresse T. 2005. High genetic variability and evidence for plant-to-plant transfer of *Banana mild mosaic virus*. *Journal of General Virology*, **86** (11) : 3179-3187 <http://dx.doi.org/10.1099/vir.0.81197-0>
20. Grisoni M., Davidson F., Hyrondelle C., Farreyrol K., Caruana M.-L., Pearson M.N. 2004. Nature, incidence, and symptomatology of viruses infecting *Vanilla tahitensis* in French Polynesia. *Plant Disease*, **88** (2) : 119-124 <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.2.119>
21. Safar J., Noa-Carrazana J.C., Vrana J., Bartos J., Alkhimova O., Sabau X., Simkova H., Lheureux F., Caruana M.-L., Dolezel J., Piffanelli P. 2004. Creation of a BAC resource to study the structure and evolution of the banana (*Musa balbisiana*) genome. *Genome*, **47** (6) : 1182-1191 <http://dx.doi.org/10.1139/g04-062>
22. Urbino C., Polston J.E., Patte C.P., Caruana M.-L. 2004. Characterization and genetic diversity of *Potato yellow mosaic virus* from the Caribbean. *Archives of Virology*, **149** (2) : 417-424 <http://dx.doi.org/10.1007/s00705-003-0220-8>
23. Lheureux F., Carreel F., Jenny C., Lockhart B.E.L., Iskra-Caruana M.-L. 2003. Identification of genetic markers linked to banana streak disease expression in inter-specific *Musa* hybrids. *Theoretical and Applied Genetics*, **106** (4) : 594-598.
24. Dallot S., Acuna P., Rivera C., Ramirez P., Côte F., Lockhart B.E.L., Caruana M.-L. 2001. Evidence that the proliferation stage of micropropagation procedure is determinant in the expression of *Banana streak virus* integrated into the genome of the FHIA 21 hybrid (*Musa* AAAB). *Archives of Virology*, **146** (11) : 2179-2190 <http://dx.doi.org/10.1007/s007050170028>
25. N'Guessan P., Pinel A., Caruana M.-L., Frutos R., Sy A., Ghesquière A., Fargette D. 2000. Evidence of the presence of two serotypes of *rice yellow mottle sobemovirus* in Côte d'Ivoire. *European Journal of Plant Pathology*, **106** : 167-178 <http://dx.doi.org/10.1023/A:1008792109954>

26. Bujadoux C., Caruana M.-L. 1994. Tristeza survey in the West Indies. *Fruits*, 49: 410-414
27. Caruana M.-L. 1993. Virus et non-virus. *Fruits*, 48 (1) (numéro spécial Bananes 1993) : 35.
28. Caruana M.-L., Nicoli M., Chabrier C. 1992. Utilisation and adaptation of the sPAGE technique for the detection of citrus viroids in Corsica. *Fruits*, 47: 87-92
29. Iskra-Caruana M.-L. 1990. Les viroses des bananiers. Le Bunchy Top des bananiers (BBTD), maladie virale des bananiers et plantains. *Fruits (spéc.)* : 57-59
30. Iskra M.-L., Garnier M., Bové J.-M 1989. Purification of banana bunchy top virus (BBTV). *Fruits*, 44 (2): 63-66

2-2 Articles publiés dans les revues à comité de lecture, sans facteur d'impact (ACL)

1. Caruana M.-L., Lheureux F., Teycheney P.Y. 2003. Les pararétrovirus endogènes (EPRV), voie nouvelle de transmission des virus de plantes. *Virologie*, 7 (4) : 255-265
2. Martin-gros G., Iskra M.-L., Garnier M., Gandar J., Bové J.-M. 1987 Production of monoclonal antibodies against phloem-limited prokaryotes of plants: a general procedure using extracts from infected priwinkles as immunogen. *Annals of Institut Pasteur/microbiology* 138: 625-637.

2-3 Articles publiés dans les revues sans comité de lecture

1. Abadie C., Bakry F., Carlier J., Caruana M.-L., Côte F., Ganry J., Lescot T., Marie P., Sarah J.L. 2003. Close-up bananas for ever. *Fruitrop* (99) : 2-11.
2. Abadie C., Bakry F., Carlier J., Caruana M.-L., Côte F., Ganry J., Lescot T., Marie P., Sarah J.L. 2003. Close-up bananas for ever : banana and the rational agriculture concept. *Fruitrop* (99) : 3-4.
3. Abadie C., Bakry F., Carlier J., Caruana M.-L., Côte F., Ganry J., Lescot T., Marie P., Sarah J.L. 2003. Close-up bananas for ever : genetic improvement of banana. *Fruitrop* (99) : 6.
4. Abadie C., Bakry F., Carlier J., Caruana M.-L., Côte F., Ganry J., Lescot T., Marie P., Sarah J.L. 2003. Close-up bananas for ever : pests and diseases of banana. *Fruitrop* (99) : 7-11.
5. Abadie C., Bakry F., Carlier J., Caruana M.-L., Côte F., Ganry J., Lescot T., Marie P., Sarah J.L. 2003. Close-up bananas for ever : the genetic diversity of banana. *Fruitrop* (99) : 5.
6. Teycheney P.Y., Iskra Caruana M.-L. 2002. Bananier : l'ennemi intérieur. *La recherche* (353) : 34-38.
7. Caruana M.-L. 1997. Les maladies virales des bananiers. *Fruitrop* (39) (Supplément trimestriel : Recherche et solutions) : II-III.

2-4 Chapitres d'ouvrage scientifiques (OS-CHAPITRE)

1. Kumar L., Selvarajan R., Iskra-Caruana M.-L., Chabannes M., Hanna R. 2014 Banana virus control, accepted in Special Issue of Advances in Virus Research, edited by Gad Lowenstein et al. in press
2. Hohn, Richert-Poeggeler K.R., Staginnus C., Harper G., Schwarzacher T., Chee How Teo, Teycheney P.Y., Iskra-Caruana M.-L., Hull R. 2008. Evolution of integrated plant viruses. In: Roossinck Marilyn J. (ed.). Plant virus evolution. Berlin: Springer [Allemagne], p. 53-81. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-75763-4_4
3. Teycheney P.Y., Caruana M.-L. 2003. Virologie : menace fantôme sur le bananier. In : Giuseppe Annoscia, Yves Gautier. La science au présent 2003: une année d'actualité scientifique et technique. Paris : Encyclopaedia Universalis, p. 83.
4. Bakry F., Carreel F., Caruana M.-L., Côte F., Jenny C., Tézenas Du Montcel H. 2001. Banana. In : Charrier André (ed.), Jacquot Michel (ed.), Hamon Serge (ed.), Nicolas Dominique (ed.). Tropical plant breeding. Montpellier : CIRAD, p. 1-29.
5. Thomas J.E., Iskra-Caruana M.-L. 2000. Bunchy top. In: Jones D.R.. Diseases of banana, abaca and enset.

Wallingford : CABI Publishing, p.241-253.

6. Thomas J.E., Iskra-Caruana M.-L., Magnaye L.V., Jones D.R. 2000. Bract mosaic. In: Jones D.R. Diseases of banana, abaca and enset. Wallingford : CABI Publishing, p.253-256.
7. Bakry F., Carreel F., Caruana M.-L., Côte F., Jenny C., Tézenas Du Montcel H. 1997. Les bananiers. In: Charrier André (ed.), Jacquot Michel (ed.), Hamon Serge (ed.), Nicolas Dominique (ed.). L'amélioration des plantes tropicales. Montpellier : CIRAD, p.109-139.

2-5 Conférences-Communications sur invitations (C-INV)

1. Iskra-Caruana M.-L. 2014. How we can detect BBTB and how are symptoms related to virus in the plant? Workshop on Recovering banana production in BBTB affected areas- Community & Household approaches Bujumbura, Burundi 20-25 January 2014. CRP RTB/ CGIAR.
2. Iskra-Caruana M.-L., Chabannes M., Duroy P.-O., Muller E. 2013. The possible BSV and banana evolution story. In: 12th International Symposium on Plant Virus Epidemiology. 28 January to 1 February 2013, Arusha, Tanzania.
3. Gayral P., Lheureux F., Noa-Carranza J.C., Lescot M., Piffanelli P., Carreel F., Jenny C., Iskra-Caruana M.-L. 2007. The exploration of the pathosystem BSV/*Musa* sp. : How does it work? In : ICGEB. First Biosafety Seminar, 6-8 June 2007, Venice, Italy.
4. Iskra-Caruana M.-L. 2006. Des virus dans le génome des plantes : l'ennemi intérieur. 8^{ème} Journées francophones de virologie, Paris, 20-21 April 2006, France.
5. Iskra-Caruana M.-L., Lheureux F., Noa-Carranza J.C., Piffanelli P., Carreel F., Jenny C., Laboureau N., Lockhart B.E.L. 2003. Unstable balance of relation between pararetrovirus and its host plant : the BSV-EPRV banana pathosystem. EMBO Workshop Genomic Approaches in Plant Virology, May 28-31, 2003, Keszthely, Hungary. p. 8
6. Caruana M.-L. 1998. Viruses in *Musaceae* : present situation and perspectives and solutions. In : Arizaga L.H. (ed.). Memorias 13 Reunion ACORBAT = Compte-rendus 13 réunion ACORBAT = Proceedings 13 ACORBAT meeting. Guayaquil : CONABAN, Equateur, p.693-704.
7. De Smet K., Caruana M.-L. 1993. Le système d'échange du germplasm bananier de l'INIBAP. Atelier régional sur les maladies virales et l'amélioration du bananier. Gitega-Burundi
8. Iskra M.-L. 1988. Methods of purification of banana bunchy top virus. 1^{er} BBTB Workshop Los Banos Philippines INIBAP/FAO/IPGRI

2-6 Conférences communications publiées dans des actes (C-ACT)

1. Pichaut J.-P., Farinas B., UMBER M., Chabannes M., Laboureau N., Duroy P.-O., Bonheur L., Salmon F., Jenny C., Iskra-Caruana M.-L. & Teycheney P.-Y. 2013. Towards the end of the BSV constraint for breeding banana interspecific hybrids. 20^e congrès ACORBAT, 9-13 September 2013 Fortaleza, Brazil.
2. Gayral P., Lheureux F., Noa-Carranza J.-C., Lescot M., Lheureux F., Piffanelli P., Carreel F., Jenny C., Iskra-Caruana M.-L. 2009 Exploring the banana streak viruses *Musa* sp pathosystem: how does it work ? *ISHS Acta Horticulturae*, 828, 291-294
3. Iskra-Caruana M.-L., Gayral P., Galzi S., Laboureau N. 2009 How to control and prevent the spread of *Banana streak virus* (BSV) when the origin could be viral sequences integrated in *Musa* genome ? ? *ISHS Acta Horticulturae* 828, 77-84
4. Péréfarres F., Le Provost G., Acina I., Lockhart B.E.L., Allal Dghim A., Iskra-Caruana M.-L., Candresse T., Teycheney P.-Y. 2009. Detection, incidence and diversity of *Banana streak virus*, *Banana mild mosaic virus* and *Banana virus X* in Guadeloupe. (2009). *Acta Horticulturae* 828: 205-212
5. Folliot M., Galzi S., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L., Teycheney P.Y., Côte F. 2006. Risk assessment of spreading *Banana streak virus* (BSV) through *in vitro* culture = Evaluation du risque de diffusion du virus

de la mosaïque en tirets du bananier (BSV) par la culture in vitro. XVII Réunion internationale ACORBAT, Joinville, Brésil, 15-20 octobre 2006.

6. Teycheney P.-Y., Le Provost G., Laboureau N., Acina I., Péréfarres F., Caruana M.-L., Candresse T. (2006). Improved detection of BSV and BVX, and study of their prevalence and molecular diversity in Guadeloupe. XVII Réunion internationale ACORBAT, Joinville, Brésil, 15-20 octobre 2006.
7. Teycheney P.-Y., Folliot M., Galzi S., Laboureau N., Caruana M.-L., Piffanelli P., Noa Carazzana J.-C., Marais A., Svanella-Dumas L., Candresse T., Côte F.-X. 2005. Towards a better control of the viral constraints hampering the multiplication and exchange of *Musa* germplasm. Proc. Caribbean Food Crops Society. 41: 92-93.
8. Teycheney P.-Y., Folliot M., Galzi S., Le Provost G., Laboureau N., Caruana M.-L., Candresse T. et Côte F.-X. 2005. Viral diseases of plantains: constraints and prospects. Proc. 2nd Int. Symp. on plantain, pp 209-213.
9. Teycheney P.-Y., Laboureau N., Zvanella-Dumas L., Galzi S., Foissac X., Côte F., Caruana M.-L. 2002. Impact of viral diseases on micropropagation and diffusion of newly created banana varieties at CIRAD. Acorbat. Memorias XV Reunion internacional Acorbat 2002, Cartagena de Indias, Colombia, 27 oct - 2 nov 2002. Proc. XV ACORBAT, pp 212-215.
10. Caruana M.-L. 1998. Activities of CIRAD virus indexing centre. In : Frison E.A. (ed.), Sharrock S.L. (ed.); IPGRI; INIBAP. Banana streak virus : a unique virus-Musa interaction ? = Rome : IPGRI, p.26-27. Workshop of the PROMUSA virology working group, 1997-01-19/1997-01-21, (Montpellier, France).
11. Caruana M.-L. 1998. Viruses in Musaceas : present situation and perspectives and solutions. In : Arizaga L.H. (ed.). Memorias 13 Reunion ACORBAT Guayaquil : CONABAN, p.693-704. Réunion ACORBAT. 13, 1998-11-23/1998-11-29, (Guayaquil, Equateur).
12. Caruana M.-L., Galzi S. 1997. Identification of uncharacterised filamentous viral particles on banana plants. - Acta Horticulturae, 490: 323-336
13. Caruana M.-L., Sechet H., Galzi S. 1994. Characterisation and detection of pathogens responsible of banana bract mosaic disease (BBMD). Memorias XI ACORBAT, 13-18 february San José, Costa Rica, pp 243-251.
14. Caruana M.-L., Jones D. 1994. Sanitary controls of banana and plantain germplasm to international exchanges. Memorias XI ACORBAT, 13-18 february San José, Costa Rica, pp 253-256.
15. Jones D.R., Caruana M.-L. 1994. Screening banana and plantain germplasm at INIBAP's virus indexing centers. In : Jones D.R. (ed.). *The improvement and testing of Musa : a global partnership*. Montpellier : INIBAP, p.99-105. Conference of the International *Musa* Testing Program. 1, 1994-04-27/1994-04-30, (La Lima, Honduras).
16. Garnier M., Martin-Gros G., Iskra M.-L., Zreik L., Gandar J., Fos A., Bov J.-M. 1990. Monoclonal antibodies against the MLOs associated with tomato stolbur and clover phyllody. Recent advances in mycoplasmaology, Zbl Bakteriol. suppl. 20 (Stanek G., Cassel G.H., Whitcomb R.F. eds) Gustav Fisher Verlag. Stuttgart New York, P 263-269.

2-7 Conférences-Communications Orales (C-COM)

1. Pichaut J.-P., Umber M., Chabannes M., Duroy P.-O., Farinas B., Laboureau N., Salmon F., Jenny C., Iskra-Caruana M.-L., Teycheney P.-Y. 2014. How genomics fuel breeding : unraveling the structure of infectious eBSV lead to the end of the BSV constraint for breeding banana interspecific hybrids. The 29th International Horticultural Congress – Sustaining lives, livelihoods and landscapes - IHC 2014 – 17-22 august 2014 Brisbane Australia.
2. Pichaut J.-P., Umber M., Chabannes M., Martinez R. T., Duroy P.-O., Farinas B., Laboureau N., Salmon F., Jenny C., Iskra-Caruana M.-L., Teycheney P.-Y. 2014. Taming infectious endogenous *Banana streak virus* sequences for breeding and growing new banana interspecific hybrids. Australasian Plant Virology Workshop, Plant virology in the omic's era, Brisbane 13 -15 août 2014.

3. Muller E., Kouakou K., Abrokwa F., Dzahini-Obiatey H., Mississo E., Iskra-Caruana M.-L., Cilas C. 2014. Geographical distribution of *Cacao swollen shoot virus* molecular variability in West Africa. In : Plant and Animal Genomes Conference XXII Conference, San Diego, United States, San Diego, United States, January 11-15, 2014.
4. Chabannes M., Duroy P.O., Seguin J., Rajendran R., Laboureau N., Pooggin M., Iskra-Caruana M.-L. 2013. Resistance of diploid banana plants to *Banana streak virus* is likely driven by silencing. Final COST FA0806 meeting. Book of abstracts. p. 15. 2013-09-12/2013-09-14, Hyères-les-Palmier, France.
5. Chabannes M., Duroy P.O., Rajendran R., Seguin J., Laboureau N., Pooggin M., Iskra-Caruana M.-L. 2013. Control of episomal and integrated *banana streak virus* in banana plants in mediated by PTGS and TGS respectively. In : Etienne Bucher, COST FA0806 Plant Epigenetics Workshop, 13-14 May 2013, Kandersteg, Switzerland.
6. Duroy P.-O., Perrier X., Laboureau N., Jacquemoud-Collet J.-P., Iskra-Caruana M.-L. 2013. How eBSV polymorphism could enlighten banana evolution? *EMBO Workshop Green Viruses, from Gene to Landscape*, 7-11 September 2013, Hyères-les-Palmiers, France
7. Duroy P.O., Seguin J., Rajendran R., Laboureau N., Pooggin M., Iskra-Caruana M.-L., Chabannes M. 2013. Natural resistance of the diploid *Musa balbisiana* Pisang Klutuk Wulung (PKW) to *Banana streak virus* is probably driven by transcriptional gene silencing. p.36. 14èmes Rencontres de Virologie Végétale (RVV), 2013/01/13-17, Aussois, France.
8. Gabriel M., Chabannes M., Iskra-Caruana M.-L., Muller E. 2013. Sequential integrations of badnaviruses into the *M. acuminata* and *M. balbisiana* genomes. p.44. 14èmes Rencontres de Virologie Végétale (RVV), 2013/01/13-17, Aussois, France.
9. Pichaut J.-P., Farinas B., Umber M., Chabannes M., Laboureau N., Duroy P.-O., Bonheur L., Salmon F., Jenny C., Iskra-Caruana M.-L. & Teycheney P.-Y. 2013. Taming infectious eBSV alleles for breeding new banana hybrid varieties. 10e congrès international de phytopathologie, Pékin (Chine) Beijing, China, August 25-30, 2013/08/25-30.
10. Pichaut J.P., Farinas B., Umber M., Chabannes M., Laboureau N., Duroy P.O., Bonheur L., Salmon F., Jenny C., Iskra-Caruana M.-L., Teycheney P.Y. 2013. Breeding *Musa balbisiana* genitors devoid of infectious eBSV alleles. 14èmes Rencontres de Virologie Végétale (RVV), 2013/01/13-17, Aussois, France.
11. Turaki A., Lava Kumar P., Lopez-Montes A., Seal S., Muller E., Galzi S., Filloux D., Iskra-Caruana M.-L. 2013. Characterisation of badnaviruses and endogenous pararetroviruses in West African yam breeding lines. In : 12th International Symposium on Plant Virus Epidemiology, Arusha, Tanzania, 28 January-1 February 2013.
12. Kouakou K., Dzahini-Obiatey H., Kebe I., Mississo A., Oro F., Cilas C., Iskra-Caruana M.-L., Muller M. 2012. Structuration géographique de la variabilité moléculaire du virus du swollen shoot du cacaoyer (CSSV) en Afrique de l'Ouest. 8^{ème} colloque de la Société Française de Phytopathologie 5-8 juin 2012 AgroParisTech Paris 5° France.
13. Chabannes M., Baurens F.C., Gayral P., Laboureau N., Duroy P.-O., Iskra-Caruana M.-L. 2011. Caractérisation moléculaire des séquences intégrées du *Banana streak virus* (BSV) dans le génome du bananier. 13èmes Rencontres de virologie végétale (RVV 2011), Aussois, France, 16-20 janvier 2011.
14. Chabannes M., Baurens F.C., Muller E, Iskra Caruana M.-L. 2011 Qu'est ce que le séquençage du génome Pahang HD nous a appris sur les intégrations virales BSV ? Atelier « Intégrations virales dans le génome de l'igname et du bananier. » 2-8 décembre 2011, Station de Neufchâteau, Guadeloupe.
15. Chabannes M., Baurens F.C., Gayral P., Laboureau N., Duroy P.O., Iskra Caruana M.-L. 2011. Quels sont les outils disponibles pour faire de la sélection assistée par marqueurs en vue de la création d'hybrides interspécifiques ? Atelier « Intégrations virales dans le génome de l'igname et du bananier ». 2-8 décembre 2011, Station de Neufchâteau, Guadeloupe.
16. Chabannes M., Duroy P.-O., Laboureau N., Rajendran R., Baurens F.C., Vernerey M.S., Pooggin M., Iskra-

- Caruana M.-L. 2011. Molecular characterisation of integrated sequences of *banana streak virus* in the banana plant genome to intend plant vaccination. Book of abstracts FA0806 WGs and MC meeting, CIRAD, Montpellier, France, 12-14 September 2011
17. Duroy P.-O., Perrier X., Chabannes M., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2011. Distribution et diversité des eBSV dans le genre *Musa* : mieux repérer les eBSV infectieux pour mieux les contrôler. Atelier « Intégrations virales dans le génome de l'igname et du bananier. » 2-8 décembre 2011, Station de Neufchâteau, Guadeloupe.
 18. Duroy P.-O., Perrier X., Chabannes M., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2011. Distribution des intégrations de *Banana streak virus* au sein de la diversité *Musa*. 13èmes Rencontres de virologie végétale (RVV 2011), Aussois, France, 16-20 janvier 2011.
 19. Galzi S., Muller E., Chabannes M., Iskra-Caruana M.-L. 2011. Etude comparative des outils de diagnostic utilisables dans un contexte de présence d'EPRV. Atelier " séquences virales endogènes des plantes", 2011/12/02-08, Neufchâteau, Guadeloupe, France.
 20. Iskra-Caruana M.-L., Duroy P.-O., Gayral P., Baurens F.-C., Vernerey M.-S., Chabannes M. 2011. Point sur les eBSV infectieux du génome B de PKW. Atelier « Intégrations virales dans le génome de l'igname et du bananier. » – Guadeloupe
 21. Iskra-Caruana M.-L., Duroy P.-O., Gayral P., Baurens F.-C., Chabannes M. 2011. Type d'intégrations de séquences virales chez le bananier. Atelier « Intégrations virales dans le génome de l'igname et du bananier. » - Guadeloupe.
 22. Iskra-Caruana M.-L., Duroy P.O., Gayral P., Baurens F.C., Vernerey M.S., Chabannes M. 2011. Understanding the evolutionary role of viral integrations in banana genome: which similitude with retrotransposons? Journées thématiques de l'UMR DIADE : Les éléments transposables : quels rôles dans la structure et l'évolution des génomes des plantes méditerranéennes?, 2011-09-27/2011-09-28, Montpellier, France.
 23. Muller E., Kouakou K., M. Chabannes, Iskra-Caruana M.-L. 2011. Phylogénie des badnavirus : dans quels clades trouve-t-on des séquences intégrées ? Atelier « Intégrations virales dans le génome de l'igname et du bananier. » - Guadeloupe.
 24. Nombissié G., Chabannes M., Baurens F.C., Ricci S., D'Hont A., Iskra-Caruana M.-L. 2011. Quel est le déterminisme génétique de l'expression du BSV lors de croisements interspécifiques consécutifs à des recombinaisons chromosomiques au cours de la méiose. Atelier « Intégrations virales dans le génome de l'igname et du bananier. » - Guadeloupe.
 25. Chabannes M., Iskra-Caruana M.-L. 2010. La problématique BSV (*Banana streak virus*). Atelier "Amélioration variétale bananiers à cuire et plantain » CARBAP-CIRAD, 2010/10/11-15, Njombé, Cameroun.
 26. Duroy P.O., Chabannes M., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2010. Quels sont les enjeux au cours de l'évolution qui ont conduit au maintien de séquences virales dans le génome des bananiers ? 2ème Printemps de Baillarguet, 2009/03/20, Montpellier, France.
 27. Duroy P.O., Perrier X., Iskra-Caruana M.-L. 2010. Distribution des intégrations de BSV au sein de la diversité *Musa*. 1 p. 5ème Colloque du Réseau Evolution Virale (REV), 2010-09-30/2010-10-01, Montpellier, France.
 28. Iskra-Caruana M.-L., Gayral P., Duroy P.O. 2010. Les intégrations virales dans le bananier, un témoignage évolutif à décrypter. Atelier DIR EVOL " De l'analyse de la Diversité vers l'étude de l'évolution des agents pathogènes. » Santé végétale et animale, 2010/12/02-03, Montpellier, France.
 29. Muller E., Iskra-Caruana M.-L. 2010. Origine de la biodiversité des séquences BSV détectées en Afrique de l'Est. 5ème Colloque du réseau évolution virale, 30 septembre - 1er octobre 2010, Montpellier, France.
 30. Muller E., Kouakou K., Aksa A., Cilas C., Iskra-Caruana M.-L. 2010. Origine de la biodiversité des

séquences de *Banana streak virus* (BSV) et de *Cacao swollen shoot virus* (CSSV). Atelier DIR EVOL " De l'analyse de la Diversité vers l'étude de l'évolution des agents pathogènes. » Santé végétale et animale, 2010/12/02-03, Montpellier, France.

31. Chabannes M., Gayral P., Iskra-Caruana M.-L. 2009. Bananier et BSV: un " partenariat " à haut risque. Atelier " Amélioration bananier ", 2009/10/21-23, Montpellier, France.
32. Chabannes M., Gayral P., Guidolin O., Baurens F.C., Sidibé-Bocs S., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2009. Diversité d'insertions virales du *Banana streak virus* dans le génome des bananiers conduisant toutes à une infection virale. Phytopathologie 2009. 7ème Colloque National de la Société Française de Phytopathologie, 8 au 11 Juin 2009, Lyon, France
33. Gayral P., Guidolin O., Blondin L., Hippolyte I., Perrier X., Iskra-Caruana M.-L. 2009. Histoire évolutive d'intégrations virales infectieuses chez les bananiers *M. balbisiana*. Brault Véronique (ed.), Ziegler-Graff Véronique (ed.), Revers Frédéric (ed.). 12èmes Rencontres de virologie végétale, Aussois du 18 au 22 janvier 2009.
34. Gayral P., Iskra-Caruana M.-L. 2009. Phylogeny of *Banana streak virus* reveals recent and repetitive endogenization in the genome of its banana host (*Musa* sp.). 12th Congress of the European Society for Evolutionary Biology (ESEB), 2009/08/24-29, Turin, Italy.
35. Gayral P., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2007. Integrations of *Banana streak virus* sequences in the genome of the banana *Musa balbisiana* : Endogenous viruses of host genes? 2007 / ESEB. 11th Congress of the European Society for Evolutionary Biology, Uppsala, Sweden, August 20-25.
36. Gayral P., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2007. Histoire évolutive d'une intégration virale pathogène : les EPRV du *Banana streak virus* chez les bananiers *Musa balbisiana*. 11 èmes Rencontres de virologie végétale, Aussois, 28 janvier au 1er février 2007.
37. Gayral P., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2007. Evolution of hazardous integrations of *Banana streak virus* in the genome of the wild banana (*Musa balbisiana*). 11th Evolutionary Biology Meeting, September 18-21, 2007, Marseille, France.
38. Le Provost G., Teycheney P.Y., Dielen A.S., Piffanelli P., Caruana M.-L. 2005. The role of methylation and chromosomal rearrangements involved in the expression of pathogenic *Banana streak virus* sequences integrated into the genome of banana. Microbes in a changing world = XIIIth International Congress of Virology, San Fransisco (USA), July 23-28, 2005.
39. Le Provost G., Caruana M.-L., Teycheney P.Y. 2005. Rôle de la méthylation dans l'expression des séquences EPRV-BSV pathogènes des bananiers. Brault Véronique, Ziegler-Graff Véronique. Résumés des 10èmes Rencontres de virologie végétale, du 6 au 10 mars 2005. Aussois, France.
40. Teycheney P.Y., Folliot M., Galzi S., Laboureau N., Caruana M.-L., Piffanelli P., Noa-Carrazana J.C., Marais A., Svanella-Dumas L., Candresse T., Côte F. 2005. Contrôle des contraintes virales pénalisant la multiplication et les échanges de germplasm *Musa*. CFCs, Guadeloupe. 41st Annual Meeting of the Carribean Food Crop Society = 41ème Congrès annuel de la Société Caraïbe pour les Plantes Alimentaires, 10-16 juillet 2005, Gosier, Guadeloupe.
41. Teycheney P.Y., Folliot M., Galzi S., Le Provost G., Laboureau N., Caruana M.-L., Candresse T., Côte F. 2005. Viral diseases of plantain and banana : Constraints and prospects. Colombia/Corpoica. II Seminario Internacional sobre produccion, comercializacion e industrializacion de platano, 08 - 02/09/05, Manizales, Colombie.
42. Teycheney P.Y., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L., Candresse T. 2005. High genetic variability in an RNA plant virus, banana mild mosaic virus. Microbes in a changing world = XIIIth International Congress of Virology, San Fransisco (USA), July 23-28, 2005.
43. Urbino C., Caruana M.-L., Pavis C., La Fortune D., Boissot N., Dintinger J. 2005. Protection intégrée de la tomate contre les maladies à begomovirus. Réunion annuelle Flhor, Montpellier, 4-6 juillet 2005 : filières productions maraîchères et vanille. Recueil de posters. Montpellier : CIRAD-FLHOR, Réunion annuelle Flhor, 2005-07-04/2005-07-06, Montpellier, France.

44. Seal S.E., Kenyon L., Lebas B., Muller E., Caruana M.L., Marchand J.-L. 2003. Detection, diversity and integration of yam badnaviruses [Abstract]. In : Advances in plant virology : A three day International conference at CIRAD, Montpellier, France on 29 September - 1 October 2003. Warwick : AAB, International Conference : Advances in Plant Virology, 2003-09-29/2003-10-01, Montpellier, France.
45. Lheureux F., Carreel F., Jenny C., Laboureau N., Lockhart B.E.L., Caruana M.-L. 2002. Highlights on pathogenic BSV EPRVs in Musa breeding programs [Abstract]. In : 2002. 3rd International Symposium on the Molecular and Cellular Biology of Bananas, Belgique, Leuven, 09-09 au 11-09.
46. Teycheney P.Y., Muller E., Seal S., Harper G., Kenyon L., Iskra Caruana M.-L. 2002. Genetic diversity of badnaviruses and its impact on germplasm movement [Abstract]. In : SFM, IUMS. The world of microbes : XIIth International Congress of Virology, 27th July to 1st August 2002 Paris, France.
47. Lheureux F., Carreel F., Jenny C., Caruana M.-L. 2001. Identification d'un marqueur génétique Musa relié à l'expression du banana streak virus au cours de l'hybridation génétique des bananiers. In : Yot Pierre, Gilmer David. Huitièmes rencontres de virologie végétale. Aussois (Savoie), 11-15 mars 2001 : résumés. Strasbourg : CNRS, p. 71. Rencontres de virologie végétale. 8, 2001-03-11/2001-03-15, Aussois, France.
48. Caruana M.-L., Bringaud C., Boussalem M., Galzi S., Séchet H., Frutos R. 1998. Le virus responsable de la mosaïque des bractées des bananiers -BBrMD- et les particules filamenteuses associées d'étiologie inconnue. International Seminar on Plantain Production. Capesterre-Belle-Eau : CIRAD-FLHOR, 4 p. Seminario Internacional sobre Produccion de Platano, 1998-05-04/1998-05-08, Armenia Quindio, Colombie.
49. Bertin Y., Pancarte C., Caruana M.-L., Poliakoff F., Coranson R. 1997. Premiers résultats d'une enquête sur le développement de la tristeza dans les vergers d'agrumes de Martinique : utilisation de la technique de l'immuno-empreinte. In : 5ème Congrès international des pépiniéristes des agrumes (Montpellier, 5-7 mars 1997), CIRAD, Montpellier, France
50. Caruana M.-L., Bringaud C., Boussalem M., Galzi S., Beverragi H., Frutos R. 1997. Caractérisation de la souche réf impliquée dans la maladie de la mosaïque des bractées des bananiers BBrMD. Rencontres de virologie végétale. 6, 1997-03-09/1997-03-13, Aussois, France.
51. Fargette D., Pinel A., N'Guessan P., Caruana M.-L., Frutos R., Sy A., Nottéghem J.L. 1997. Variabilité du virus de la panachure jaune du riz. Rencontres de virologie végétale. 6, 1997-03-09/1997-03-13, Aussois, France.
52. Albar L., Pinel A., N'Guessan P., Caruana M.-L., Fargette D., Ghesquière A. 1995. Evaluation of the concentration of the *Rice yellow mottle virus*. First international congress on the *Rice yellow mottle virus*, RYMV.
53. Bujadoux C., Cao Van P., Caruana M.L. 1993. Enquête Tristeza en Martinique. In : Journées FLHOR vergers tropicaux. Montpellier : CIRAD-FLHOR, p.80-81. Réunion annuelle CIRAD-FLHOR, 1993-08-30/1993-09-05, (Montpellier, France).
54. Caruana M.-L. 1993. CIRAD-IRFA/LPRC Virus Indexing Centre. In : Ganry Jacky (ed.). Breeding banana and plantain for resistance to diseases and pests. Montpellier : CIRAD-FLHOR, p.373 International symposium on genetic improvement of bananas for resistance to diseases and pests, 1992-09-07/1992-09-09, Montpellier, France.
55. Caruana M.-L. 1993. Principal virus diseases of bananas. In : Ganry Jacky (ed.). *Breeding banana and plantain for resistance to diseases and pests*. Montpellier : CIRAD-FLHOR, p.99-103. International symposium on genetic improvement of bananas for resistance to diseases and pests, 1992-09-07/1992-09-09, Montpellier, France.
56. Caruana M.-L. 1993. Principal virus diseases of bananas. Ganry Jacky (ed.). *Breeding banana and plantain for resistance to diseases and pests*. Montpellier : CIRAD-FLHOR, p.99-103 International symposium on genetic improvement of bananas for resistance to diseases and pests, 1992-09-07/1992-09-09, Montpellier, France.

57. Chabrier C., Caruana M.-L., Jaquemond C., Dubois A. 1993. Contrôle de routine des parcs à bois de la station de Corse vis-à-vis des maladies de quarantaine : la Tristeza. In : *Journées FLHOR vergers tropicaux*. Montpellier : CIRAD-FLHOR, p.82 Réunion annuelle CIRAD-FLHOR, 1993-08-30/1993-09-05, (Montpellier, France).
58. Iskra M.-L. 1988. Methods of purification of banana bunchy top virus and monoclonal antibodies development. 1^{er} BBTV workshop, Los Banos, Philippines FAO-INIBAP-IPGRI.
59. Iskra M.-L., Bové J.M. 1987. Viruses diseases of bananas : methods for early detection and characterization of Bunchy Top associated virus. In : Walmsley D. (ed.). Seminar proceedings on Improving citrus and banana production in the Caribbean through phytosanitation, St. Lucia, W.I., 2-5 December 1986. Wageningen : CTA, p.29-32 Seminar on Improving Citrus and Banana Production in the Caribbean through Phytosanitation, 1986-12-02/1986-12-05, Castries, Sainte-Lucie.

2-8 Conférences-Communications par affiches (C-AFF)

1. Chabannes M., Baurens F.-C., Duroy P.O., vernerey M.-S., Gayral P., Iskra-Caruana M.-L. 2014 Unraveling the structure of integrated banana streak virus sequences (eBSV) allow markers assisted selection of Musa germplasm devoid of infectious eBSV. The 29th International Horticultural Congress – Sustaining lives, livelihoods and landscapes - IHC 2014 – 17-22 august 2014 Brisbane Australia.
2. Chabannes M., Duroy P.O., Rajendran R., Seguin J., Laboureau N., Pooggin M., Iskra-Caruana M.-L. 2013. Control of episomal and integrated *banana streak virus* in banana plants is mediated by ptgs and tgs respectively. *EMBO Workshop Green Viruses, from Gene to Landscape*, 7-11 September 2013, Hyères-les-Palmiers, France p. 92.
3. Chabannes M., Duroy P.O., Seguin J., Rajendran R., Laboureau N., Pooggin M., Iskra-Caruana M.-L. 2013. Banana plants use post-transcriptional gene silencing to control Banana streak virus infection. p.87. 14èmes Rencontres de Virologie Végétale (RVV), 2013/01/13-17, Aussois, France.
4. Duroy P.O., Perrier X., Laboureau N., Jacquemoud-Collet J.-P., Iskra-Caruana M.-L. 2013. How eBSV polymorphism could enlighten BSV and banana evolution story? p.81. 14èmes Rencontres de Virologie Végétale (RVV), 2013/01/13-17, Aussois, France.
5. Galzi S., Duroy P.O., Chabannes M., Umber M., Farinas B., Teycheney P.Y., Iskra-Caruana M.-L. 2013. Marker-assisted genotyping of eBSV alleles in banana. p.64. 14èmes Rencontres de Virologie Végétale (RVV), 2013/01/13-17, Aussois, France.
6. Iskra-Caruana M.-L., Carlet F., Limpalaër M. 2013. Vers une optimisation de la détection du virus de la mosaïque des bananiers. 10ème Conférence internationale sur les maladies en agriculture AFPP du 3 au 5 décembre 2012 tours France
7. Iskra-Caruana M.-L., Chabannes M., Duroy P.O., Muller E. 2013. The possible BSV and banana evolution story. In: International Symposium on Plant Virus Epidemiology. 12, 2013/01/28-2013/02/01, Arusha, Tanzanie.
8. Nombissie Touko G.B., Chabannes M., Baurens F.C., Cardi C., Ricci S., D'Hont A., Iskra-Caruana M.-L. 2013. Distribution of B genome chromosomes, containing viral integrations, in banana progenies from AAAB x AA cross. p.45. Vienna International Plant Conference Association (VIPCA). International conference "Plant Genetics and Breeding Technologies", 2013/02/18-20, Vienna, Austria.
9. Nombissie Touko G.B., Chabannes M., Baurens F.C., Cardi C., Ricci S., D'Hont A., Iskra-Caruana M.-L. 2013. Distribution of B genome chromosomes, containing viral integrations, in banana progenies from AAAB x AA cross : N52. p.60. Vienna International Plant Conference Association (VIPCA). International conference "Plant Diseases and Resistance Mechanisms", 2013/02/20-22, Vienna, Austria.
10. Nombissie Touko G.B., Chabannes M., Baurens F.C., Cardi C., Ricci S., D'Hont A., Iskra-Caruana M.-L. 2013. Activation of viral integrations following chromosome redistribution during an interspecific cross. p.100. 14èmes Rencontres de Virologie Végétale (RVV), 2013/01/13-17, Aussois, France.
11. Umber M., Laboureau N., Muller E., Roumagnac P., Iskra-Caruana M.-L., Pavis C., Teycheney P.Y., Filloux

- D. 2013. Towards a better characterization of endogenous badnavirus sequences of yams (*Dioscorea* spp.). p.99. 14èmes Rencontres de Virologie Végétale (RVV), 2013/01/13-17, Aussois, France.
12. Chabannes M., Baurens F.C., Duroy P.O., Bocs S., Vernerey M.S., Rodier-Goud M., Barbe V., Gayral P., Iskra-Caruana M.-L. 2013. The three infectious Banana streak virus species present in the banana genome of Pisang Klutuk Wulung (PKW) are allelic. Polyploïdie et cytogénétique, 2013-05-16/2013-05-17, Rennes, France.
 13. Chabannes M., Duroy P.O., Laboureau N., Rajendran R., Baurens F.C., Pooggin M., Iskra-Caruana M.-L. 2012. Natural resistance of banana genotypes to banana streak virus is probably driven by transcriptional gene silencing. 40th Keystone Symposia on Molecular and Cellular Biology-1972-2012 : Nuclear events in plant gene expression and signaling, 2012. 03/06-11, Taos New Mexico, USA
 14. Chabannes M., Baurens F.C., Gayral P., Laboureau N., Duroy P.-O., Iskra-Caruana M.-L. 2011. Caractérisation moléculaire des séquences intégrées du Banana streak virus (BSV) dans le génome du bananier. 13èmes Rencontres de virologie végétale (RVV 2011), Aussois, France, 16-20 janvier 2011.
 15. Duroy P.-O., Perrier X., Chabannes M., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2011. Distribution des intégrations de Banana streak virus au sein de la diversité Musa. 13èmes Rencontres de virologie végétale (RVV 2011), Aussois, France, 16-20 janvier 2011.
 16. Duroy P.-O., Perrier X., Chabannes M., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2011. Distribution and conservation of Banana streak virus (BSV) within banana *Musa balbisiana* genomes : what impact on host and virus evolution ? ESF-EMBO Symposium, September 18th to 23rd, 2011, San Feliu de Guixols, Spain.
 17. Duroy P.-O., Perrier X., Chabannes M., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2011. Distribution and conservation of Banana streak virus (BSV) within banana *Musa balbisiana* genome: what impact on host and virus evolution ? Rémy Froissart, Samuel Alain (Ed.). Workshop 2011 du Réseau Evolution Virale (REV), 6-7 octobre 2011, Montpellier, France.
 18. Muller E., Kouakou K., Cilas C., Iskra-Caruana M.-L. 2011. Origin of the emergence of badnaviruses such as Cacao swollen shoot virus (CSSV) and Banana streak virus (BSV). 4th Plant Virus Ecology Network Workshop (PVEN), Montpellier, France, May 30 to June 1, 2011., Montpellier, France.
 19. Duroy P.O., Chabannes M., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2010. Quels sont les enjeux au cours de l'évolution qui ont conduit au maintien de séquences virales dans le génome des bananiers ? 3ème Printemps de Baillarguet, 2010-04-29, Montpellier, France.
 20. Duroy P.-O., Perrier X., Iskra Caruana M.-L. 2010. Distribution des intégrations de BSV au sein de la diversité Musa. 5ème Colloque du Réseau Evolution Virale, 30 septembre/1er octobre 2010, Montpellier, France.
 21. Chabannes M., Gayral P., Guidolin O., Baurens F.C., Sidibé-Bocs S., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2009. Molecular characterisation of integrated sequences of Banana streak virus in the banana plant genome. XIV International Congress on Molecular Plant-Microbe Interactions, July 19-23, 2009, Quebec, Canada.
 22. Galzi S., Laboureau N., Pelletier C., Rouet P., Iskra-Caruana M.-L. 2009. La crise du BBrMV : un cas d'école. SFP. Brault Véronique (ed.), Ziegler-Graff Véronique (ed.), Revers Frédéric (ed.). 12èmes Rencontres de virologie végétale, Aussois du 18 au 22 janvier 2009. Paris : CNRS
 23. Gayral P., Guidolin O., Blondin L., Laboureau N., Royer M., Iskra-Caruana M.-L. 2009. Plusieurs types d'insertions virales dans le génome des bananiers peuvent conduire à une infection. Brault Véronique (ed.), Ziegler-Graff Véronique (ed.), Revers Frédéric (ed.). 12èmes Rencontres de virologie végétale, Aussois du 18 au 22 janvier 2009. Paris : CNRS
 24. Folliot M., Galzi S., Laboureau N., Caruana M.-L., Teycheney P.Y., Côte F. 2007. Risk assessment of spreading Banana streak virus (BSV) through in vitro culture. ProMusa Symposium: Recent advances in banana crop protection for sustainable production and improved livelihoods, 2007/09/10-14, White River, South Africa / ISHS.

25. Gayral P., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2007. Molecular characterization of a pathogenic integration of the Golfinger Gf species of banana streak virus in the genome of *Musa balbisiana*. ProMusa Symposium: Recent advances in banana crop protection for sustainable production and improved livelihoods, 2007/09/10-14, White River, South Africa / ISHS.
26. Gayral P., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L. 2007. Caractérisation moléculaire d'une intégration pathogène du Banana streak virus souche golfinger Gf dans le génome *Musa balbisiana*. 11^{èmes} Rencontres de virologie végétale, 28 janvier au 1^{er} février 2007, Aussois, France.
27. Noa-Carrazana J.C., Lescot M., Piffanelli P., Safar J., Dolezel J., Matsumoto T., Silva-Rosales L., Lheureux F., Teycheney P.Y., Sasaki T., Iskra-Caruana M.-L. 2007. Molecular analysis of Banana streak virus (BSV) in the nuclear genome of *Musa balbisiana*. ProMusa Symposium: Recent advances in banana crop protection for sustainable production and improved livelihoods, 2007/09/10-14, White River, South Africa / ISHS.
28. Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L., Blondin L., Muller E. 2007. Prevalence of BSV resulting from an endogenous origin in the outbreak and maintain of the banana streak disease. ProMusa Symposium: Recent advances in banana crop protection for sustainable production and improved livelihoods, 2007/09/10-14, White River, South Africa / ISHS.
29. Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L., Blondin L., Muller E. 2007. Importance de l'origine endogène du BSV dans l'émergence et le maintien d'épidémies. 11^{èmes} Rencontres de virologie végétale, Aussois, 28 janvier au 1^{er} février 2007.
30. Le Provost G., Lheureux F., Dielen A.S., Laboureau N., Teycheney P.Y., Iskra-Caruana M.-L. 2007. Characterization of the expression of pathogenic Banana streak virus sequences integrated in the genome of banana during genetic crosses. ProMusa Symposium: Recent advances in banana crop protection for sustainable production and improved livelihoods, 2007/09/10-14, White River, South Africa / ISHS.
31. Le Provost G., Lheureux F., Dielen A.S., Laboureau N., Teycheney P.Y., Iskra-Caruana M.-L. 2007. Caractérisation, au cours de croisement génétiques, de l'expression de séquences pathogènes du Banana streak virus intégrées dans le génome du bananier. 11^{èmes} Rencontres de virologie végétale, Aussois, 28 janvier au 1^{er} février 2007.
32. Folliot M., Galzi S., Laboureau N., Caruana M.-L., Teycheney P.Y., Côte F. 2006. Risk assessment of spreading Banana streak virus (BSV) through in vitro culture Horticulture, CIRAD highlights. Montpellier : CIRAD-FLHOR.
33. Teycheney P.Y., Le Provost G., Laboureau N., Acina I.N., Péréfarres F., Iskra-Caruana M.-L., Candresse T. 2006. Improved detection of banana streak viruses and Banana virus X and study of their prevalence and study of their prevalence and molecular diversity in Guadeloupe = Amélioration de la détection des espèces virales BSV et BVX, étude de leur prévalence et de leur diversité moléculaire en Guadeloupe. XVII Réunion internationale ACORBAT 2006, Joinville, Brésil, 15-20 octobre 2006.
34. Folliot M., Galzi S., Laboureau N., Caruana M.-L., Teycheney P.Y., Côte F. 2005. Evaluation du risque de propagation du Banana streak virus (BSV) par diffusion de germplasm *Musa* issu de culture in vitro. Brault Véronique, Ziegler-Graff Véronique. Résumés des 10^{èmes} Rencontres de virologie végétale, Aussois du 6 au 10 mars 2005. Strasbourg : CNRS, [1] p. Rencontres de virologie végétale. 10, 2005-03-06/2005-03-10, Aussois, France.
35. Folliot M., Galzi S., Laboureau N., Caruana M.-L., Teycheney P.Y., Côte F. 2005. Risk assessment of spreading Banana streak virus (BSV) through in vitro culture. Microbes in a changing world = XIIIth International Congress of Virology, July 23-28, 2005. San Francisco, Etats-Unis.
36. Folliot M., Galzi S., Sadom L., Tomekpé K., Iskra-Caruana M.-L., Côte F. 2005. Evaluation de l'impact de la CIV sur l'activation des EPRV BSV pour la diffusion de plantains. Brault Véronique, Ziegler-Graff Véronique. Résumés des 10^{èmes} Rencontres de virologie végétale, Aussois du 6 au 10 mars 2005, Aussois, France.
37. Laboureau N., Faiza Noreen, Richert-Poeggeler K.R., Hohn T., Iskra-Caruana M.-L. 2005. L'interférence

ARN pour lutter contre les séquences pararétrovirales endogènes des bananiers. Brault Véronique, Ziegler-Graff Véronique. Résumés des 10èmes Rencontres de virologie végétale, du 6 au 10 mars 2005 Aussois, France.

38. Muller E., Laboureau N., Dupuy V., Caruana M.-L., Daugrois J.H., Bauffe F. 2005. Incidence et variabilité du Sugarcane bacilliform virus (SCBV) en Guadeloupe. Brault Véronique, Ziegler-Graff Véronique. Résumés des 10èmes Rencontres de virologie végétale, du 6 au 10 mars 2005, Aussois, France.
39. Teycheney P.Y., Laboureau N., Iskra-Caruana M.-L., Candresse T. 2005. Analyse de la variabilité génétique du virus de la mosaïque atténuée du bananier (BanMMV). Brault Véronique, Ziegler-Graff Véronique. Résumés des 10èmes Rencontres de virologie végétale, du 6 au 10 mars 2005, Aussois, France.
40. Urbino C., Caruana M.-L., Pavis C., La Fortune D., Boissot N., Dintinger J. 2005. Protection intégrée de la tomate contre les maladies à begomovirus. Réunion annuelle Flhor, Montpellier, 4-6 juillet 2005 : filières productions maraîchères et vanille. Recueil de posters. Montpellier : CIRAD-FLHOR, Réunion annuelle Flhor, 2005-07-04/2005-07-06, Montpellier, France.
41. Folliot M., Galzi S., Laboureau N., Caruana M.-L., Teycheney P.Y., Côte F. 2004. Risk assessing of spreading BSV through in vitro culture. Picq Claudine (ed.), Vézina Anne (ed.). First International congress on Musa: harnessing research for improved livelihoods, 6-9 July 2004, Penang, Malaysia. Abstract guide. Montpellier : INIBAP, p. 34
42. Piffanelli P., Noa-Carrazana J.C., Benabdelmouna A., Matsumoto T., Silva-Rosales L., Lheureux F., Teycheney P.Y., Geering A.D., D'Hont A., Frison E.A., Roux N., Côte F., Glaszmann J.C., Sasaki T., Caruana M.-L. 2004. Molecular analysis of Banana streak virus integrants in the nuclear genome of *Musa balbisiana*. XIIIth International Congress of Virology, July 23-28, 2005. San Francisco, Etats-Unis.
43. Piffanelli P., Noa-Carrazana J.C., Benabdelmouna A., Matsumoto T., Silva-Rosales L., Lheureux F., Teycheney P.Y., Geering A.D., D'Hont A., Frison E.A., Roux N., Côte F., Glaszmann J.C., Sasaki T., Caruana M.-L. 2004. Molecular analysis of Banana streak virus integrants in the nuclear genome of *Musa balbisiana* [Abstract]. In : Picq Claudine (ed.), Vézina Anne (ed.). First International congress on Musa: harnessing research for improved livelihoods, 6-9 July 2004, Penang, Malaysia.
44. Teycheney P.Y., Laboureau N., Caruana M.-L., Candresse T. 2004. Molecular variability of Banana mild mosaic virus. Picq Claudine (ed.), Vézina Anne (ed.). First International congress on Musa: harnessing research for improved livelihoods, 6-9 July 2004, Penang, Malaysia. Abstract guide. Montpellier : INIBAP, p. 39
45. Iskra-Caruana M.-L., Lheureux F., Dallot S. 2003. Les séquences pararétrovirales endogènes des plantes : nouvelle voie d'émergence du virus de mosaïque en tirets des bananiers. 5ème Journées francophones de virologie, 10-11 avril 2003, Paris.
46. Lheureux F., Carreel F., Jenny C., Lockhart B.E.L., Iskra-Caruana M.-L. 2003. Le bananier et le BSV : réveil d'un virus dormant. 9ème Rencontres de virologies végétales, 2-6 février 2003, Aussois, France.
47. Noa-Carrazana J.C., Vilarinhos A. D., Caruana M.-L., Lheureux F., Teycheney P.Y., Sabau X., Glaszmann J.C., Dolezel J., Piffanelli P. 2003. Integration patterns of Banana streak virus into banana nuclear genome [Poster abstract S25-10]. 7th International Congress of Plant Molecular Biology, ISPMB 2003, Barcelona (Spain), June 23-28.
48. Seal S.E., Kenyon L., Lebas B., Muller E., Caruana M.-L., Marchand J.L. 2003. Detection, diversity and integration of yam badnaviruses. Advances in plant virology : A three day International conference at CIRAD, Montpellier, France on 29 September - 1 October 2003. Warwick : AAB, 1 p. International Conference : Advances in Plant Virology, 2003-09-29/2003-10-01, Montpellier, France.
49. Teycheney P.Y., Iskra-Caruana M.-L., Laboureau N., Carreel F., Candresse T. 2003. Molecular variability of banana mild mosaic virus (BanMMV). Advances in plant virology : A three day International conference at CIRAD, Montpellier, France on 29 September - 1 October 2003. Warwick : AAB, 1 p. International Conference : Advances in Plant Virology, 2003-09-29/2003-10-01, Montpellier, France.

50. Teycheney P.Y., Laboureau N., Svanella-Dumas L., Iskra-Caruana M.-L., Foissac X., Candresse T. 2003. Détection du virus de la mosaïque atténuée du bananier (BanMMV) par IC-RT-PCR et étude de sa variabilité moléculaire. 9ème Rencontres de virologie végétale, 2-6 février 2003, Aussois
51. Lheureux F., Carreel F., Jenny C., Laboureau N., Lockhart B.E.L., Caruana M.-L. 2002. Highlights on pathogenic BSV EPRVs in Musa breeding programs [Abstract]. In : 2002. 3rd International Symposium on the Molecular and Cellular Biology of Bananas, Belgique, Leuven, 09-09 au 11-09.
52. Lheureux F., Carreel F., Jenny C., Laboureau N., Lockhart B.E.L., Iskra-Caruana M.-L. 2002. Endogenous Banana streak virus sequences in Musa genome : a new risk for breeding program. SFM, IUMS. The world of microbes : XIIth International Congress of Virology, Paris, 27th July to 1st August 2002, Paris, France, p. 227
53. Teycheney P.Y., Muller E., Seal S., Harper G., Kenyon L., Iskra-Caruana M.-L. 2002. Genetic diversity of badnaviruses and its impact on germplasm movement. SFM, IUMS. The world of microbes : XIIth International Congress of Virology, Paris, 27th July to 1st August 2002. Paris, France.
54. Teycheney P.Y., Laboureau N., Zvanella-Dumas L., Galzi S., Côte F., Caruana M.-L. 2002. Impact of viral diseases on micropropagation and diffusion of newly created banana varieties at CIRAD. Acorbat. Memorias XV Reunion internacional Acorbat 2002, Cartagena de Indias, Colombia, 27 oct - 2 nov 2002.
55. Dallot S., Acuna P., Côte F., Rivera C., Ramirez P., Caruana M.-L. 2001. L'étape de prolifération en culture in vitro a un rôle déterminant pour l'expression du banana streak virus intégré au génome de l'hybride tétraploïde FHIA21 (Musa 'AAAB'). Yot Pierre, Gilmer David. Huitièmes rencontres de virologie végétale, 11-15 mars 2001 Aussois, France.
56. Caruana M.-L., Boussalem M., Galzi S. 1998. The banana bract mosaic disease. Galan Sauco V., Hernandez Delgado P.M.; ICIA; International Symposium on Banana in the Subtropics, 1997-11-10/1997-11-14, (Puerto de la Cruz, Espagne).
57. Caruana M.-L., Galzi S. 1998. Identification of uncharacterised filamentous viral particles on banana plants. In : Galan Sauco Victor (ed.). Proceedings of the first international symposium on banana in the subtropics. Wageningen : ISHS, p.323-335 International Symposium on Banana in the Subtropics. 1, 1997-11-10/1997-11-14, (Puerto de la Cruz, Espagne).
58. Pavis C., Urbino C., Boissot N., Sauvion N., Caruana M.-L., Ano G. 1998. Is the Mi gene efficient for resistance against Bemisia argentifolii? Mayer R.T. (ed.), Maxwell D.P. (ed.). 2nd International Workshop on Bemisia and Geminiviral Diseases. 2, 1998-06-07/1998-06-12, (San Juan, Porto Rico).
59. Urbino C., Caruana M.-L., Gérion A., Sauvion N., Huc A. 1998. A survey of the geminivirus disease in Guadeloupe in relation with the presence of Bemisia argentifolii. Mayer R.T. (ed.), Maxwell D.P. (ed.). 2nd International Workshop on Bemisia and Geminiviral Diseases. 2, 1998-06-07/1998-06-12, (San Juan, Porto Rico).
60. Urbino C., Gérion A., Caruana M.-L. 1998. Molecular and biological characterization of three isolates of geminivirus infecting tomato in Guadeloupe. Mayer R.T. (ed.), Maxwell D.P. (ed.). 2nd International Workshop on Bemisia and Geminiviral Diseases. 2, 1998-06-07/1998-06-12, (San Juan, Porto Rico).
61. Bertin Y., Pancarte C., Caruana M.-L., Poliakoff F., Coranson R. 1997. Premiers résultats d'une enquête sur le développement de la tristeza dans les vergers d'agrumes de Martinique : utilisation de la technique de l'immuno-empreinte. 5ème World Congress of the International Society of Citrus Nurserymen. 5, 1997-03-05/1997-03-08, Montpellier, France.
62. Fargette D., Pinel A., N'Guessan P., Caruana M.-L., Frutos R., Sy A., Nottéghem J.L. 1997. Variabilité du virus de la panachure jaune du riz. Rencontres de virologies végétales. Centre du CAES du CNRS à Aussois, France.
63. Caruana M.-L., Boussalem M., Galzi S., Frutos R. 1997. The banana bract mosaic disease : molecular characterisation of the « Ref » strain. International symposium on banana in the subtropics, Tenerife, 10-14 novembre 1997.
64. Caruana M.-L., Bringaud C., Boussalem M., Galzi S., Beverragi H., Frutos R. 1997. Caractérisation de la

souche réf impliquée dans la maladie de la mosaïque des bractées des bananiers BBrMD. Rencontres de virologies végétale. Centre du CAES du CNRS à Aussois, France.

65. Anceau C., Caruana M.-L., Colinet D., Lepoivre P. 1995. The use of PCR for the identification of Banana bract mosaic virus. International plant protection congress, la Haye, Pays Bas.
66. Chabrier C., Caruana M.-L. 1994. The french citrus improvement sanitation programme after thirty years. Tribulato E., Gentile A., Reforgiato G. Proceedings of the 7th International Citrus Congress. Cultural practices, diseases and their control. Riverside : ISC, p.756-757 International Citrus Congress. 7, 1992-03-08/1992-03-13, Acireale, Italie.
67. Bujadoux C., Cao Van P., Caruana M.-L. 1993. Enquête Tristeza en Martinique = Tristeza survey in Martinique= Encuesta Tristeza en Martinica. Journées FLHOR vergers tropicaux. Montpellier : CIRAD-FLHOR, p.80-81 Réunion annuelle CIRAD-FLHOR, 1993-08-30/1993-09-05, (Montpellier, France).
68. Chabrier C., Caruana M.-L., Jaquemond C., Dubois A. 1993. Contrôle de routine des parcs à bois de la station de Corse vis-à-vis des maladies de quarantaine : la Tristeza = Routine quarantine control of Tristeza in woodlots at the corsican station= Control de rutina de los parques a maderia de la estacion de corcega contra en contra enfermedades de cuarentena de la Tristeza. Journées FLHOR vergers tropicaux. Montpellier : CIRAD-FLHOR, p.82 Réunion annuelle CIRAD-FLHOR, 1993-08-30/1993-09-05, (Montpellier, France).
69. Caruana M.-L., Baudin P. 1992. CIRAD Montpellier : quarantine of sugar cane and indexing centre of bananas, Tropical Virus Meeting, association of applied biologist (aab), University of York.
70. Caruana M.-L., Chabrier C. 1992. Utilization and adaptation of the sPAGE technique for the detection of Citrus viroids in Corsica. VII International Citrus Congress. p.73 International Citrus Congress. 7, 1992-03-08/1992-03-13, Acireale, Italie.
71. Chabrier C., Vogel R., Caruana M.-L. 1992. Present situation of the french citrus improvement sanitation program after thirty years. VII International Citrus Congress. Book of abstracts. Acireale : International Society of Citriculture, p.74 International Citrus Congress. 7, 1992-03-08/1992-03-13, Acireale, Italie.

2-9 Rapport diplômant

1. Iskra M.-L. 1989 Contribution à l'étude du virus associé à la maladie du Bunchy top des bananiers. Mémoire de thèse de Doctorat. Université Bordeaux II UER de Biochimie et Biologie Cellulaire.
2. Iskra M.-L. 1985 Production d'anticorps monoclonaux contre le MLO responsable de la prolifération du pommier. Mémoire de DEA Biochimie, Microbiologie : option Pathologie et Virologie. Université Bordeaux II.

2-10 Production non académique : Rapport d'expertises - Documents techniques - Rapport de mission (AP)

1. Iskra-Caruana M.-L., Hostachy B., Masse D., Tassu X. 2015 « Risque Banana streak virus (BSV) en cas d'introduction de vitro-plants de bananier plantain issus respectivement de bananiers plantains d'origine des DOM. » saisine ANSE n°2014-SA-0178 BSV/Plantain. Rapport d'appui scientifique et technique 33p.
2. Iskra-Caruana M.-L. 2007 Rapport de mission Israël "Approvisionnement sécurisés de la filière bananière aux Antilles ». 10p ; du 9 au 13 janvier 2007
3. Bruchet P., Iskra-Caruana M.-L., Mestre R. 2006 Expertises aux Antilles Françaises sur le virus de la mosaïque des bractées des bananiers BBrMV. 15p ; du 20 au 26 septembre 2006
4. Caruana M.-L. 2004. Banana bract mosaic virus - BBrMV. Référence BAN-v2. In : Mourichon Xavier, Camou Romain, Ehret Pierre. Analyses de risque phytosanitaire : appui à la rédaction de la réglementation spécifique aux départements d'outre-mer. [Cd-Rom]. Montpellier : CIRAD, 24 p.

5. Caruana M.-L. 2004. Banana bunchy top babuvirus - BBTv. Référence BAN-v1. In : Mourichon Xavier, Camou Romain, Ehret Pierre. Analyses de risque phytosanitaire : appui à la rédaction de la réglementation spécifique aux départements d'outre-mer. [Cd-Rom]. Montpellier : CIRAD, 31 p.
6. Caruana M.-L. 2004. Banana mild mosaic virus - BanMMV. Référence BAN-v4. In : Mourichon Xavier, Camou Romain, Ehret Pierre. Analyses de risque phytosanitaire : appui à la rédaction de la réglementation spécifique aux départements d'outre-mer. [Cd-Rom]. Montpellier : CIRAD, 24 p.
7. Caruana M.-L. 2004. Banana streak badnavirus - BSV. Référence BAN-v3. In : Mourichon Xavier, Camou Romain, Ehret Pierre. Analyses de risque phytosanitaire : appui à la rédaction de la réglementation spécifique aux départements d'outre-mer. [Cd-Rom]. Montpellier : CIRAD, 27 p.
8. Caruana M.-L. 2004. Pineapple bacilliform virus référence ANA-v1 : Informations nécessaires à l'analyse du risque phytosanitaire Pineapple bacilliform virus - PBV pour les zones Antilles, Guyane, Réunion. In : Mourichon Xavier, Camou Romain, Ehret Pierre. Analyses de risque phytosanitaire : appui à la rédaction de la réglementation spécifique aux départements d'outre-mer. [Cd-Rom]. Montpellier : CIRAD, 11 p.
9. Caruana M.-L. 2004. Pineapple wilt-associated virus référence ANA-v2 : Informations nécessaires à l'analyse du risque phytosanitaire de pineapple wilt-associated virus (PMWaV) pour les zones Antilles, Guyane, Réunion. In : Mourichon Xavier, Camou Romain, Ehret Pierre. Analyses de risque phytosanitaire : appui à la rédaction de la réglementation spécifique aux départements d'outre-mer. [Cd-Rom]. Montpellier : CIRAD, 24 p.
10. Caruana M.-L., Teycheney P.Y. 2003. Pararetroviruses : diseases, integration and genomes (Paradigm). Site scientifique du Web des savoirs. Montpellier : CIRAD.[20051103]. <http://paradigm.CIRAD.fr/index.html>
11. Caruana M.-L., Feldmann P. 2001. Rapport de mission Martinique - Guadeloupe du 1er au 10 juin 2000. Montpellier : CIRAD, 12 p.
12. Caruana M.-L. 2000 Rapport de mission « 2eme international symposium on the molecular and cellular biology of banana, 30/10-9/11 Byron Bay Australie
13. Caruana M.-L., Thomas J. 2000 report - Consultancy on the eradication of BBTv from New Caledonia. 15-20/05/2000, 26p.
14. Boisseau N., Caruana M.-L., Pavis C., Sauvion N., Urbino C. 1998. Rapport de mission du 7 au 12 juin participation au « 2ème International Workshop on bemisia and begomovirus. » Porto Rico.
15. Caruana M.-L. 1996. Rapport de mission Costa Rica du 24 au 30 mars 1996. Montpellier : CIRAD-FLHOR, 25 p.
16. Lescot T., Caruana M.-L. 1996. Projet : structure d'appui à la distribution de variétés de bananiers indemnes en zone LAC. In : Caruana M.-L. Rapport de mission Costa Rica du 24 au 30 mars 1996. Montpellier : CIRAD-FLHOR, [4 p.]] p.
17. Caruana M.-L. 1995. Rapport de mission - production de bananiers indemnes de virus - Philippines du 3 au 12 novembre 1995. Montpellier : CIRAD-FLHOR, 22 p.
18. Caruana M.-L. 1994. Second "hands on" workshop on banana bunchy top disease. Report. Montpellier : INIBAP, 38 p. Workshop on banana bunchy top disease. 2, 1990-07-30/1990-08-10, (Montpellier, France).
19. Thomas J.E., Caruana M.-L., Jones D.R. 1994. Maladies des *Musa*. Fiche technique n 4. La maladie du bunchy top du bananier = Musa disease-Fact sheet n 4. Banana bunchy top disease. Enfermedades de *Musa* - Hoja divulgativa n 4. Enfermedad des cogollo racemoso des banano o "banana bunchy top disease". Montpellier : INIBAP, 2 p.
20. Caruana M.-L. 1994. Compte-rendu mission Tunisie du 4 au 12 décembre 1994. Mission d'expertise virologie sur le projet national tunisien pour la production de plants d'agrumes indemnes de virus. Montpellier : CIRAD-FLHOR, 13 p.
21. Caruana M.-L. 1994. La maladie du Bunchy Top des bananiers = Banana Bunchy Top disease, BBTD. La

enfermedad del Bunchy Top de los bananos. Montpellier : CIRAD-FLHOR, 2 p.

22. Iskra-Caruana M.-L., Devergne J.C. 1993. Mission d'évaluation des vitroplants bananiers en Israël. Montpellier : CIRAD-FLHOR, rapport - 17 p.
23. Caruana M.-L., Fouré E., Ganry J. 1992 CR de mission Iraz Afrique d el'est du 1 au 19 décembre 1992, 145p.
24. Caruana M.-L., Fouré E., Ganry J. 1992. Mission IRAZ - Burundi/Rwanda/Zaire - du 1 au 19 décembre 1992. Montpellier : CIRAD-FLHOR, 34 p.
25. Caruana M.-L. 1990. Compte rendu « Viroïdes des agrumes » Missions Corse (1-5/10/1990)-Espagne (15-24/10/1990)-Corse(12-23/11/1990). CIRAD-IRFA, 23p.
26. Caruana M.-L. 1990- 2^{ème} Workshop « hands on BBTV » Montpellier du 30/07 au 11/08 1990 – Ed CVirad, FAO, INIBAP.

2-11 Production non académique – Rapport de projets – rapport d'unité

1. Staver C., Rietveld A., Ajambo S., Kumar L., Niyongere C., Iskra-Caruana M.-L. 2014 Strategic planning workshop report 'Recovering banana production in BBTD affected areas : community & farm household approaches'. Program reserch on roots and tubers and banana - CGIAR 50p.
2. Iskra-Caruana M.-L., Bahri A., Chevassu au Louis B., Cormier-Salem M.-C., dron M., Kamgnia Dia B., Le Gall O., Schmidt-Laine C., Wopereis M., Goebel R., Morillon R., Ribier V., Trébuil G., Sarah J.-L., Hervieu B. 2013 Contribution au bilan de mandature du 8^{ème} Conseil Scientifique du Cirad. 13p.
3. Caruana M.-L. 2010 – L'interférence ARN, une méthode pour l'induction de la résistance chez les plantes et l'animal. Rapport scientifique final - ATP 02/06 ARNi 2006-2009
4. Caruana M.-L. (ed.), Urbino C., Holt J., Pavis C., Umaharan P., Carrasco D.A., Martinez-Zubiaur Y., Gomez O. 2007. BetoCarib: Begomovirus disease management for sustainable production to tomato in Caribbean. Final report 2002-2006 : INCO International scientific cooperation projects. Contract number: ICA4-2001-10002. Montpellier : CIRAD, 129 p. ; PLUS un rapport annuel year one, two and three.
5. Caruana M.-L., Teycheney P.Y. 2006. Pararetroviruses: diseases, integration and genomes. PARADIGM Final report. Quality of life and management of living resrouces Contrat QLK3-CT-2002-02098. Montpellier : CIRAD, 93 p., PLUS un rapport annuel year one, two and three.
6. Caruana M.-L., Urbino C., Holt J., Pavis C., Umaharan P., Carrasco D.A., Martinez Zubiaur Y., Gomez O. 2003. Begomovirus disease management for sustainable production to tomato in Caribbean. Annual report covering the period from 1 February 2002 to 31 January 2003 : INCO : International Scientific Cooperation Projects (1998-2002). Contract number : ICA4-2001-10002. Montpellier : CIRAD-AMIS, 85 p.
7. Caruana M.-L., Galzi S., Laboureau N., Bousalem M., Royer M., Frutos R. 1999. La maladie de la mosaïque des bractées des bananiers. In : Fargette Denis (ed.), Peterschmitt Michel (ed.), Ferrer M. (ed.). LPRC. Rapport d'activités 1996-1998. Montpellier : CIRAD, p.39-42.
8. Caruana M.-L., Galzi S., Laboureau N., Marchand O. 1999. Les particules virales filamenteuses d'étiologie inconnue. In : Fargette Denis (ed.), Peterschmitt Michel (ed.), Ferrer M. (ed.). LPRC. Rapport d'activités 1996-1998. Montpellier : CIRAD, p.36-38.
9. Urbino C., Gérion A.L., Lebrize G., Caruana M.-L. 1999. La maladie à geminivirus de la tomate en Guadeloupe. In : Fargette Denis (ed.), Peterschmitt Michel (ed.), Ferrer M. (ed.). LPRC. Rapport d'activités 1996-1998. Montpellier : CIRAD, p.17-20.
10. Boissot N., Ano G., Caruana M.-L., Lafortune D., Lebrize G., Pavis C., Sauvion N., Urbino C. 1998 Etude des interactions bemisia/begomovirus/plantes maraichères. Rapport d'activité INRA/CIRAD Unité de Recherche en Productions Végétales URPV. Centre Antilles Guyanes 60p.
11. Ano G., Boissot N., Caruana M.-L., Lafortune D., Pavis C., Sauvion N., Urbino C. 1997 Résistance des plantes maraichères au coupe Bemisia/geminivirus. Rapport d'activité INRA/CIRAD Unité de Recherche

en Productions Végétales URPV. Centre Antilles Guyanes 36p.

12. Caruana M.-L., Galzi S., Séchet H., Bousalem M., Bringaud C. 1996. Etiologie de la maladie de la mosaïque des bractées des bananiers pour un diagnostic cible. In : CIRAD; ORSTOM. LPRC, Laboratoire de Phytovirologie des Régions Chaudes, CIRAD-ORSTOM. Rapport d'activités 1994-1995. Montpellier : CIRAD, p.6-9.
13. Caruana M.-L. 1996. Rapport d'activité du centre d'indexation virologique bananier. Période du 31 mai 1996 au 31 décembre 1996. Montpellier : CIRAD-FLHOR, 10 p.
14. Urcuqui S., Caruana M.-L. 1996. Assainissement viral du Maracujà colombien. In : Fargette Denis (ed.). LPRC. Rapport d'activités 1994-1995. Montpellier : CIRAD, p.17-19.
15. Jones D., Caruana M.-L. 1994. Screening Banana and plantain germplasm for virus diseases. Focus paper III. In : INIBAP. INIBAP annual report 1993. Montpellier : INIBAP, p.66-69.
16. Caruana M.-L., Chabrier C. 1993. Contrôle de la Tristeza des agrumes. In : CIRAD-LPRC; ORSTOM. Laboratoire de Phytovirologie des Régions Chaudes CIRAD-ORSTOM, rapport d'activité 1992-1993. Montpellier : CIRAD-ORSTOM, p.9-11.
17. Caruana M.-L., Galzi S., Séchet H., Chabrier C., Pakora A. 1993. Etiologie des maladies à viroïdes des agrumes. In : CIRAD-LPRC; ORSTOM. Laboratoire de Phytovirologie des Régions Chaudes CIRAD-ORSTOM, rapport d'activité 1992-1993. Montpellier : CIRAD-ORSTOM, p.22 (1 p.).
18. Caruana M.-L., Séchet H., Galzi S. 1993. Viroses du bananier. Laboratoire de Phytovirologie des Régions Chaudes CIRAD-ORSTOM, rapport d'activité 1992-1993. Montpellier : CIRAD-ORSTOM, p.8-9.
19. Caruana M.-L., Galzi S., Chabrier C. 1992. Viroïdes des agrumes. Rapport d'activités LPCR n. 5. 1990-1991. Montpellier : CIRAD-ORSTOM, p.39-40.

3- Travaux encadrés

Je n'ai jamais envisagé d'activité de recherche sans collaborations et j'ai toujours eu le souhait de partager et de transférer mon savoir et savoir-faire. J'ai ainsi co-encadré durant ma thèse une étudiante libanaise en DEA, puis formé et encadré deux étudiants chinois pour l'obtention d'anticorps monoclonaux dirigés contre le mycoplasme de la maladie d'Oman et la bactérie du greening des agrumes respectivement. C'est donc tout naturellement que j'ai continué au CIRAD. J'ai ainsi formé très régulièrement en début de carrière de nombreux chercheurs et agents techniques, et progressivement encadré des étudiants de premiers, deuxième et troisième cycle ainsi que des jeunes chercheurs sur des contrats post-doctoraux. J'ai ainsi encadré 5 post-doc, 5 thèses dont deux en co-encadrement, 8 Master-2, DEA et DESS, 6 Master-1 et de nombreux étudiants de licence et BTS. J'ai veillé à ce que les étudiants en post-doc et thèses présentent leur travaux à des congrès et les valorisent par des publications. J'ai régulièrement dispensé quelques heures d'enseignement y compris lorsque j'étais basée en Guadeloupe et animé une semaine de TP pour des étudiants de maîtrise, même si cette activité est loin d'être une activité majoritaire. J'ai depuis plus de 15 ans la responsabilité scientifique du projet de l'équipe de recherche que je dirige aujourd'hui constituée de deux chercheurs et trois techniciens (un plein temps et deux demi-temps).

CHERCHEURS de l'équipe

1. Matthieu CHABANNES recruté en mai 2008 : projet « Caractérisation des mécanismes de régulation des séquences endogènes du Banana streak virus (eBSV) présentes chez le bananier *Musa balbisiana*. »
2. Emmanuelle Muller depuis 2002 : projet « Origine de la diversité génétique et de la structuration des badnavirus épisomaux du *Banana streak virus* du bananier et du *Cacao swollen shoot virus* du cacaoyer ».

POST-DOCTORAL

1. Cathy GREVESSE 2005-2006 - « Identification des première phases d'expression du BSV au cours de la culture in vitro des bananiers par QPCR ». (12 mois) Projet de recherche européen 5ème PCRD, PARADIGM (Pararetroviruses: diseases, integration and genomes).
2. Grégoire LEPROVOST 2004-2005 - "Caractérisation des EPRV pathogènes : outils de diagnostic et mécanismes d'expression". (12 mois) Projet de recherche européen 5ème PCRD, PARADIGM (Pararetroviruses: diseases, integration and genomes). (1 publication)
3. Fabrice LHEUREUX 2002-2003 - "Etude des mécanismes moléculaires d'activation des EPRV pathogènes au cours de stress abiotiques et caractérisation de la résistance à la multiplication virale observée lors d'interaction étroite entre EPRV et plante hôte pour le pathosystème BSV/banancier" (18 mois) Projet de recherche européen 5ème PCRD, PARADIGM (Pararetroviruses: diseases, integration and genomes). (1 publication)
4. Sylvie DALLOT 1998-1999 - « Expression of BSV during in vitro micropropagation of FHIA 21 hybrids presenting potentially activable BSV integrated sequences. » July 98 - Nov 99 (Financement MAE). (1 publication)
5. Cica URBINO 1998-1999 - « Caractérisation de la maladie à begomovirus des tomates en Guadeloupe et Martinique. » Janv 1998 - févr 1999 - Financement INRA. (1 publication)

THESES

1. Lyna MUKWA FAMA TONGO (2012- en cours) – Université Catholique de Louvain –Belgique - « Diagnostic moléculaire multiples des pathogènes du bananier en support à la gestion intégrée des maladies en République Démocratique du Congo. » - Encadrants principaux Claude Bragard et Adrien Kalonji Mbuyi Wa Mbombo, Encadrant scientifique en appui M.-L. ISKRA-CARUANA. (1 publication, 2 en cours)
2. Guy NOUMBISSIE (2011-2013) - ED SIBAGHE de Montpellier II - « Etude de l'activation d'eBSV lors de la redistribution des chromosomes au cours d'un croisement génétique interspécifique chez le bananier. » - Directeurs scientifiques A. D'HONT et M.-L. ISKRA-CARUANA, Encadrants scientifiques : M. CHABANNES, F.-C. Baurens et S. RICCI. (1 publication soumise)
3. Pierre-Olivier DUROY (2009-2012) - ED SIBAGHE de Montpellier II - « Quels sont les enjeux au cours de l'évolution qui ont conduit au maintien de virus dans le génome des plantes ? » - Directeur de thèse JL Notteghem Agrom, Encadrant scientifique ADR: M.-L. ISKRA-CARUANA. (4 publications, 2 en cours)
4. Philippe GAYRAL (2005-2008) – ED SIBAGHE Biologie de l'Evolution et Ecologie de Montpellier II - « Evolution des pararetrovirus endogènes de plantes : le cas des séquences intégrées du banana streak virus chez le bananier (Musa sp.) ». Bourse région Languedoc Roussillon. Directeur de thèse Philippe ROTT (CIRAD), Encadrant scientifique M.-L. ISKRA-CARUANA (5 publications)
5. Fabrice LHEUREUX (1998-2002) - Thèse ENSAM ED biologie Intégrative - « Les mécanismes génétiques d'activation et de multiplication du Banana streak virus intégré dans le génome Musa sp. » Directeur de thèse JL Notteghem Agrom, Encadrant scientifique M.-L. ISKRA-CARUANA (3 publications)

CDD

1. Virginie DUPUY 2006 - « Caractérisation de la résistance à la multiplication du BSV par une approche interférence de type ARNi. » Projet de recherche européen 5ème PCRD, PARADIGM (Pararetroviruses: diseases, integration and genomes). CDD – chercheur/ingénieur (BAC +5) - (12 mois)
2. Gaëtan Lebrize – VAT 1998–« Etudes de la maladie à geminivirus des tomates en Guadeloupe : transmission, outils de détection dans les insectes et impact économique. » Vatarat (une année)
3. Fabrice Lheureux – 1998 « Le virus BSV détection sur des accessions maintenues en CIV. » – Co-encadrement avec Christophe Jenny - CDD sur convention (4 mois)

4. Mustapha Bousalem 1996 - « Caractérisation moléculaire de la souche virale « Réf » responsable de la maladie de la mosaïque des bractées des bananiers. » - Chercheur senior accueil politique Algérie – (CDD 6 mois)
5. Kamel Chabanne 1994 –« Etude bibliographique et projet pour une approche moléculaire du BBrMV en tant que potyvirus (PCR et IC-RT-PCR). » - Chercheur sénior accueil politique Algérie (CDD 3 mois)

MASTER 2 – (DEA et DESS)

1. Guy NOUMBISSIE (2010) - « Monitoring de différentes espèces de *Banana streak virus* – BSV par l'utilisation de la qPCR. » Master 2 Semences et plants méditerranéens et tropicaux (SEPMET) Spécialité Systèmes et techniques innovants pour un développement agricole durable. Ecole de SupAGRO Montpellier. Co-encadrement avec M. CHABANNES. (6 mois)
2. Olivier GUIDOLIN (2008) - « Caractérisation d'un intégrant viral infectieux, le *Banana streak virus* –BSV- espèce Imové chez le porteur sain le bananier Pisang Klutuk Wulung PKW ». Master 2 Professionnel de Bio-ingénierie mention biotechnologies végétales. Université Paul Sabatier Toulouse III. (6 mois).
3. Anne-Sophie DIELEN (2005) - « Exploration de la diversité des souches virales et de séquences endogènes EPRV, Endogenous pararetrovirus) du *Banana streak virus* en vue de contrôler le pathosystème EPRV BSV/Bananier». Université de Montpellier II DEA RPMI (Ressources Génétiques et interactions biologiques). Université de Montpellier II. (6 mois).
4. Florence DAOUX (2005) - « Expression des EPRV BSV à la suite de stress abiotiques. » Master 2 Environnement et Développement Durable. Université de Perpignan (5 mois).
5. Elise DRUET (1999) - « Detection of episomal form of the *Banana streak virus* using IC-PCR, and evaluation of its use as early screening tool. » promotion 1999 co-encadrement avec Françoise CARREEL CIRAD Ecole Supérieure de Biotechnologie de Strasbourg - (6 mois).
6. Olivier MARCHAND (1997) - « Caractérisation sérologique et moléculaire de particules virales filamenteuses non identifiées présentes dans les bananeraies guadeloupéennes. » - Diplôme d'Ingénieur en Agriculture de la Faculté des Sciences de Gembloux - Cadre convention CIRAD-FLHOR et Fusagex (6 mois)
7. Christelle BRINGAUD (1996) - « Caractérisation moléculaire de la souche virale « Réf » impliquée dans la maladie de la mosaïque des bractées des bananiers en vue de l'élaboration d'un test de détection. » DIRS : Diplôme d'Initiation à la Recherche de l'Université François Rabelais de TOURS.
8. Sylvio Urcuqui (1995) - « Essais d'assainissements viral du maracujà par culture in vitro et thérapie. » DEA : Bases de la production végétale. Option Biotechnologies et Amélioration des plantes. Université de Montpellier II. (6 mois).

MASTER 1

1. Clémence MEDINA (2012) - « Contribution à l'étude de la régulation des intégrations virales de *Banana streak virus* dans le génome des bananiers. » Master 1 Biologie des Plantes et des micro-organismes, Biotechnologies, Bioprocédés BPMBB. Université de Montpellier II.
2. Abderrahmane AKSA (2010) - « Compréhension des processus évolutifs à l'origine de la biodiversité du *Banana streak virus* (BSV). » Master 1 Biologie, Géosciences, Agroressources et Environnement. Spécialité Biologie et évolution des plantes. Université de Montpellier II. Co-encadrement avec E. Muller.
3. Philippe LAPORTE (2003) - « Développement d'un crible de sélection des bananiers susceptibles d'exprimer la maladie de la mosaïque en tirets à partir de séquences virales endogènes. » Maîtrise de Biochimie UFR Sciences de la vie et environnement Université de Rennes (5 mois).
4. Gladys LEFORT (2003) - « Diagnostic des virus des plantes tropicales dans le cadre d'une Quarantaine ». Maîtrise de Biologie Cellulaire et Physiologie option Physiologie végétale appliquée Université de Montpellier II (3 mois).

5. Véronique SIOUSSARAM (1997) - « La maladie à geminivirus de la tomate en Guadeloupe. » Maîtrise Science et Technique de l'Université des Antilles et de la Guyane. (2 mois). co-encadrement C. urbino
6. Séverine COHEN (1996) - « Transmission et détection de la maladie de la mosaïque des bractées des bananiers. » Maîtrise de Biologie des populations et des écosystèmes. Université de Montpellier II – USTL.

ETUDIANTS de 1er cycle – Licences et BTS/DUT

1. Manon ROUSSELET (2013) - “ Les différentes facettes des interactions entre les badnavirus et leurs hôtes”. Licence de biologie Université Nîmes III (2 mois)
2. Lisa PERRIER (2012) - “Diagnostic du *Banana streak virus* par IC-PCR, PCR et RCA.” Licence de Biologie parcours: Biologie des organismes. Université Montpellier II Département Biologie Ecologie. (2mois)
3. Anne-Sophie DIELEN (2003) - “Développement d’une méthode d’activation des séquences EPRV BSV pathogènes à partir de bananiers -Silencieux-. ” Licence de Physiologie Végétale appliquée Université de Montpellier II (4 mois).
4. Christophe Plard – (2001) - «Indexation virologique du germoplasme bananier. » Lycée d’Enseignement Général et Technologique Agricole et Horticole filière « ANABIOTEC ». BTS (3 mois)
5. Julien Walkowicz (1999) - « Le développement agricole de la banane aux Antilles » Lycée d’Enseignement Général et Technologique Agricole de la Guadeloupe. BTS (3 mois)
6. Delphine ALLORENT (1998) - « Réglementation Internationale des échanges de bananiers et techniques d’indexation des virus associés. » Licence de Physiologie Végétale Appliquée USTL Montpellier II. (2 mois).
7. Marie-Violaine TATRY (1997) - « Evaluation de l’état phytosanitaire et technique de culture en serre d’une quarantaine de plantes ornementales. » Licence de Physiologie Végétale Appliquée USTL Montpellier II. (2 mois)
8. Nicolas Lesimple (1996) - « méthodes de détection de la maladie du Bunchy top des bananiers » - Transformation Laboratoire Contrôle de la qualité – LPA Beauregard – Villefranche de Rouergue – Stage de 1ere année de BTA – (3 mois)
9. Ghislain Marty (1996) - « Développement d’outils moléculaires pour la détection du virus responsable de la mosaïque en tirets des bananiers le BSV » -Stage de CNAM Biochimie Montpellier (3 mois)
10. Olivier Marchand (1996) – « Détection par PCR du virus à ADN responsable de la mosaïque en tirets des bananiers. » Cadre convention CIRAD-FLHOR et Faculté des Sciences de Gembloux – Stage 1ère année Ecole d’ingénieur (1 mois)
11. Sylvio Urcuqui (1994) « Micropropagation par Culture in vitro de maracujà et d’ananas originaires de Colombie et Etudes des principaux virus des maracujàs. » – DES – Université de Montpellier II.
12. Julie Guignot (1994) – « Production d’anticorps monoclonaux dirigés contre deux virus pathogènes de plante. » encadrement partagé avec Denis Fargette de l’ORSTOM – IUT – (2 mois)
13. Jérôme Clair (1993) – DEUG B – Université USTL de Montpellier 8 au 12/03/1993
14. Aïcha PAKORA (1992) - Licence de physiologie végétale appliquée – Université USTL Montpellier II.

PARTICIPATION A DES COMITES DE THESE

1. Reina Teresa Martinez (2011-2015) - Evaluation du risque de dispersion du virus de la mosaïque en tirets du bananier (BSV) par la diffusion d’hybrides interspécifiques de bananiers et de plantains porteurs de séquences endogènes BSV infectieuses. UAG Guadeloupe Direction PY Teycheney et G. Godoy de Lutz (République Dominicaine)
2. Vincent Michaux (2009-2012) Détection et caractérisation moléculaires rapides du virus de la peste

- porcine africaine et utilisation des reconstructions phylogénétiques pour reconstituer son histoire évolutive. UMII Direction Emmanuel Albina
3. Carine Holz (2008-2011) Dynamique de l'émergence in vitro des mutants d'échappement du virus de la peste des petits ruminants (PPRV) face à l'activité ARN interférente ciblant le gène de la nucléoprotéine : implications pour les stratégies thérapeutiques. UMII Direction Emmanuel Albina
 4. Carina Edon-Jock (2005-2008) Le virus de la feuille jaune de la canne à sucre : spécificités de la déssimination en Guadeloupe et en Martinique. UAG Guadeloupe Co-direction Jean-Heinrich Daugrois et Pr. Jean Vaillant.
 5. Olivier Kwiatak et Habib Salami comité de pré-Thèses. 2011 UMII.

FORMATION CONTINUE

- × **(2002)** Erik Auboiron – Diagnostic des viroses des bananiers, (1 semaine)
- × **(1997)** Yves Bertin - « Détection de la Tristeza des agrumes par la technique DTBIA (Direct tissu blotting Immuno Assay). » - CIRAD-FLHOR Martinique, (une semaine)
- × **(1996)** Anne-lise Gérion – « Techniques de virologie : détection et transmission) INRA Guadeloupe (3 semaines)
- × **(1996)** Monica Guzman - « Obtention d'AC monoclonaux contre le virus souche K de la Tristeza des agrumes » chercheur colombien en cours de thèse en Corse, (deux mois).
- × **(1996)** Asma Najar - « Purification du virus de la Tristeza en Tunisie / Extraction et caractérisation de viroïdes issus de vergers tunisiens-suite.» INRA de Tunisie (2 semaines)
- × **(1995)** Asma Najar «Extraction et caractérisation par la méthode sPAGE des viroïdes issus de vergers tunisiens. » - INRA de Tunisie, (2 semaines)
- × **(1995)** Monica Guzman - « Purification et analyse par Western-Blots de divers isolats du virus de la Tristeza des agrumes » chercheur colombien en cours de thèse en Corse, (un mois).
- × **(1994)** Christine Anceau – Université Agronomique de Gembloux « projet BBTv des bananiers » (un mois)
- × **(1994)** Nehiba Bsaies GIAF Tunisie – « Indexation virus et viroïdes des agrumes » (2 semaines)
- × **(1994)** Philippe Cao Van – chercheur CIRAD-FLHOR de MARTINIQUE - Contrôles sanitaires de la collection d'agrumes en Martinique » appui à l'utilisation des outils de détection dans le cadre du projet « Lutte contre la Tristeza des agrumes dans la Caraïbe. » (2 semaines)
- × **(1994)** Kamel Chabanne –Conseil Régional « Formation à la virologie végétale. » (un mois)
- × **(1994)** Dominique Denon - GRISP Antilles Guyanes de Guadeloupe « Indexation routinière des viroses des bananiers et de la Tristeza des agrumes. » (une semaine)
- × **(1994)** Mahomed Keddou - Chercheur ITAF Algérie projet GTZ « Détection des viroïdes. » (une semaine)
- × **(1994)** Michel Grisoni –chercheur CIRAD-FLHOR de l'île de la réunion - «Purification et détection de la Tristeza par la technique d'IC-RT-PCR. » cadre d'une thèse à l'ENSAM de Montpellier, (1 mois)
- × **(1994)** Asma Najar INRA Tunisie – « Indexation virus et viroïdes des agrumes » (2 semaines)
- × **(1994)** Françoise Poliakov – Ingénieur de la SPV Martinique – « Détection des principaux virus des bananiers. » (une semaine)
- × **(1994)** Christian Vernière - Chercheur CIRAD-FLHOR en Corse – Techniques d'indexation pour le contrôle du matériel agrume certifié (sPAGE, ELISA) (2 semaines)
- × **(1993)** José Faustino MAE – « Détection des viroïdes et du virus de la tristeza des agrumes » - Centro de Citricultura /Faro Portugal – (une semaine)

- × **(1993)** Bruno Hoestachi SPV Martinique – « Détection des principaux virus des bananiers et des agrumes » (2 semaines)
- × **(1992)** Dr. Saif Kalid- MAE/CIES – « Caractérisation du virus du bunchy top des bananier au Pakistan » - Plant virology programme National Agricultural Research Centre. Islamabad PAKISTAN – (3 mois)
- × **(1992)** Thaddée Musabyimana – FAO –« Diagnostic des virus du bananier » Responsable programme Banane – ISAR/Rwanda – (3 mois)
- × **(1991)** Christine Anceau – « Purification du virus du bunchy top des bananiers » - Université Agronomique de Gembloux - (1 mois)

ENSEIGNEMENTS

- × **Depuis 2005** - Cours aux étudiants Master Complémentaire en Protection des Cultures Tropicales et subtropicales de l'université de Gembloux et aux étudiants de SupAgro Montpellier (4 à 6 heures/ans)
- × **2005** - Conférence sur « Bananier l'ennemi intérieur : nouvelle voie d'émergence des pararétrovirus. » à La Société d'Étude des Sciences naturelles de Nîmes et du Gard au carré d'art – (3H)
- × **2004** - Conférence sur « Le réveil d'un virus dormant : le BSV » USTL Montpellier II janvier 2004 – (F. Casse) (2H)
- × **2002** - Conférence sur « Le réveil d'un virus dormant : le BSV » au DESS Paris Orsay janvier 2002 - (M. Dron) (2H)
- × **2000** – Conférence sur « Banana viruses, biology and diagnostic ». Centre de recherche. Vietnam (3H)
- × **1997** - Cours à L'Université des Antilles et de la Guyane pour la Maîtrise Sciences et Techniques « Sciences agronomiques et développement rural – « Les virus : Définition et Structure / Identification des virus des plantes / Exemples de maladie virale en zone tropicale et contrôle : maladie à geminivirus de la tomate, Tristeza des agrumes et maladies des bananiers. » (8H)
- × **1996** - DEA – BDAPC option de pathologie végétale module Pathologie Tropicale « Les viroses des bananiers : indexation et Quarantaines. » (4h)
- × **1996-1995** CNEARC – « Les maladies à virus des agrumes » (4H)
- × **1996** - « Molecular detection of Viroids of citrus » Cours (8H)
- × **1994** – Conférence sur « Virus and Viroids on citrus » CNRA de Manizales, Colombie

ATELIERS DE FORMATION

- × **(2014)** - Organisation de deux semaines de travaux pratiques en laboratoire et cours « Diagnostic des principaux virus des bananiers » - 20 chercheurs et étudiants membres du projet CGIAR/ CRP RTB BBTB.
- × **(2013)** – Organisation et suivi d'une semaine de travaux pratiques en laboratoire « Diagnostic des principaux virus des bananiers » - 21 personnes des pays de la Caraïbe – projet interreg CABARE – co-organisé avec PY Teycheney.
- × **(2008)** - Atelier de formation au diagnostic du « *Banana bract mosaic virus* » - BBrMV – Agents FDGDEC et SPV et Laboratoire national agréé 71. (6 personnes)
- × **(2007)** – Diagnostic method to detect BBrMV in mother banana plants - Atelier de formation du 5 au 8 mars 2007 pour le PPIS Israël. (1 personne)
- × **(2006)** - Atelier de formation au diagnostic du « *Banana bract mosaic virus* » par IC-RT-PCR – 11-13 décembre 2006 pour le LPV Martinique (3 personnes).
- × **(1997)** - Mise en place d'une semaine de formation à la technique DTBIA – Agents CIRAD-FLHOR, FDGDEC et SPV. Préalable au lancement de la campagne de détection de la Tristeza en Martinique. (6 personnes)
- × **(1997)** - Organisation et suivi d'une semaine de travaux pratiques en laboratoire « Techniques de détection des virus des plantes » pour 7 étudiants de la Maîtrise Science et Technique de l'Université

des Antilles et de la Guyane.

- × **(1996)** - Formation à la technique sPAGE d'une semaine en Tunisie (une semaine) – « Serology and electrophoretic plant virus diagnosis techniques » organisé par l'Institut méditerranéen de BARI- projet PNUD – FAO et le soutien de la Commission of European Communities (25 personnes).
- × **(1990)** Workshop « Hands-on BBTv » (20 personnes)

EXPERTISES TECHNIQUES

2014-2015 - Dossier technique sur le risque BSV suite à l'introduction de vitroplants de bananiers plantain aux Antilles- Dossier instruit pour l'ANSES et les services de l'inspection et de la protection des végétaux -DGAL France.

2008 - Développement d'un Test de diagnostic BBrMV performant pour les services de l'inspection et de la protection des végétaux -DGAL France.

2007 - Evaluation phytosanitaire de la production de viroplants de la société Raham meristem Israël et modification du cahier des charges d'introduction de vitroplants de bananiers en France. A la demande des services de l'inspection et de la protection des végétaux -DGAL France et Plant protection and inspection services (PPIS) Israël. (9 au 13 janvier 2007).

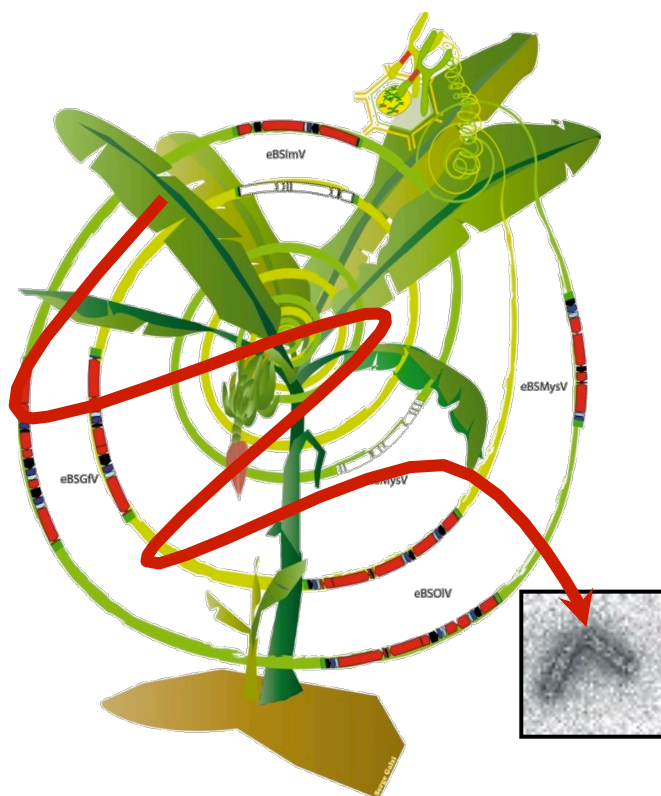
2006 - Expertises aux Antilles Françaises sur le virus de la mosaïque des bractées des bananiers BBrMV. Du 20 au 26 septembre 2006 – A la demande des services de l'inspection et de la protection des végétaux -DGAL France.

2003 – Expertise pour l'analyse de risques phytosanitaires pour la Direction Générale de l'Alimentation (DGAL) du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. Estimation du risque représenté par les principaux virus des bananiers : Banana bunchy top virus, Banana bract mosaic virus, Banana streak mosaic virus, Banana mild mosaic virus, Cucumber mosaic virus. Fiches d'analyses de risques.

2000 - Consultation pour l'éradication du Banana bunchy top virus de Nouvelle Calédonie - (15 - 23 Mai 2000) à la demande du Gouvernement de Nouvelle Calédonie.

1993 - Evaluation phytosanitaire de la production de vitroplants de la société Raham meristem Israël et établissement du cahier des charges d'introduction de vitroplants de bananiers en France – mise en place d'un Aggrément avec le PPIS (Plant protection and inspection services) Israël.

2^{ème} Partie : Activité de Recherche



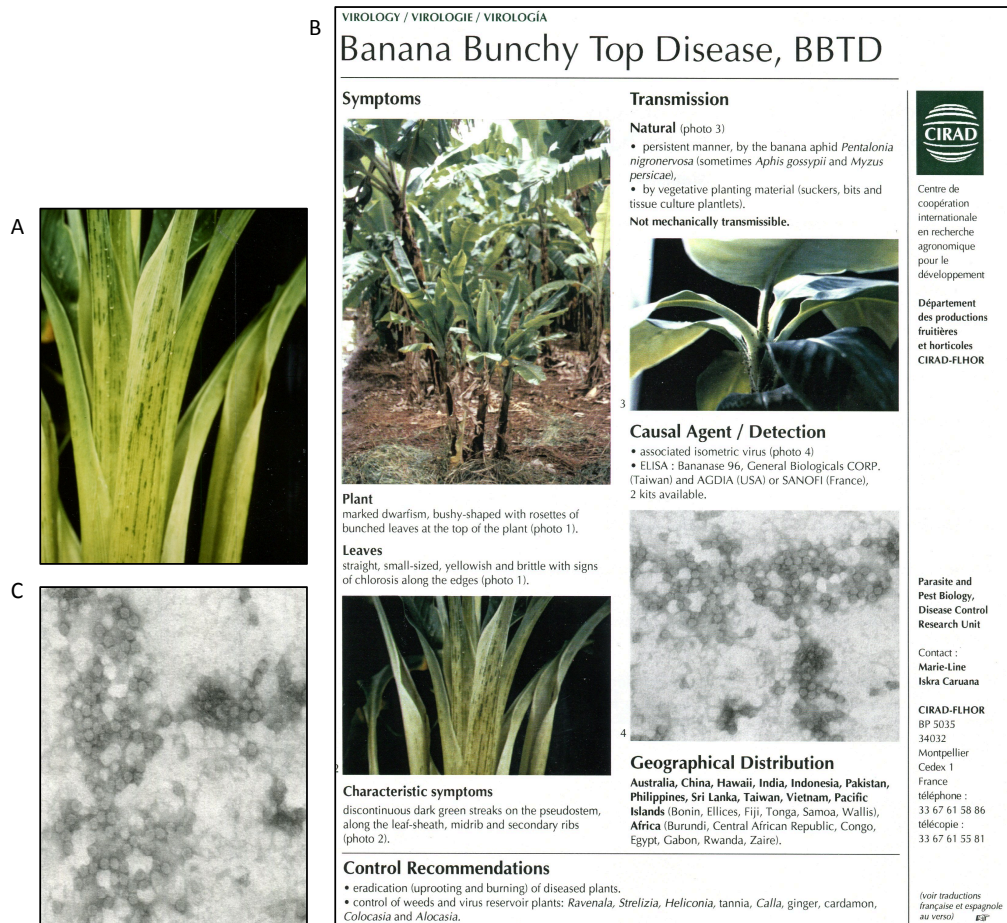


Figure 1: La maladie du Bunchy top et son virus, le *Banana bunchy top virus* BBTV

A : Tirets verts foncés sur gaines du pseudo tronc de bananier

B : Fiche technique BBTV CIRAD

C : Particules virales de 18 nm de diamètre

A- Activité de recherche

J'ai choisi dans ce dossier de ne développer qu'une partie de mes activités afin de garder un fil conducteur et le lien/fil rouge avec le projet de recherche propre que je conduis aujourd'hui. Ce dernier s'inscrit dans le projet global de l'équipe 2B2E que j'ai développé et dirige, et qui a intégré successivement ceux des deux autres chercheurs de l'équipe. Il vise à anticiper l'émergence et l'expansion possible de foyers de maladies à badnavirus en proposant de tester des hypothèses évolutives permettant d'expliquer la structuration génétique des badnavirus très diversifiée. Ce travail qui a été évalué et noté A une première fois par l'AERES puis jugé « original et d'excellente qualité » dernièrement ne sera traité que pour la partie relevant de mon activité propre de recherche sur le modèle Bananier/BSV.

1- Etiologie et diagnostic des maladies virales tropicales

Mon activité de recherche a, dès le début, porté sur l'étiologie et le diagnostic des maladies à virus des plantes tropicales comme le bananier et les agrumes. J'ai ainsi obtenu une bourse ministérielle MRT-Tropicale CIRAD pour réaliser une thèse sur l'étiologie du virus de la maladie du bunchy top des bananiers. L'objectif du département fruitier (IRFA/FLHOR) du CIRAD au travers de cette thèse était de recruter un chercheur pour pallier l'absence d'activité en virologie tropicale. Pour ces raisons, j'ai conduit ces recherches à l'INRA de Bordeaux sous la direction du Pr. J-M. Bové, virologue qui travaillait depuis de longues années sur les pathogènes des agrumes en partenariat avec le département IRFA/FLHOR du CIRAD.

1-1 Une thèse en virologie tropicale (sept 1985- déc 1989)

Mon sujet de thèse était d'une part complexe puisque le virus du bunchy top n'avait jamais été ni purifié ni caractérisé bien que l'origine virale soit suspectée depuis 1930. Ainsi, aucun moyen de diagnostic autre que la symptomatologie n'existait alors pour cette maladie qui représente toujours le risque économique mondial majeur, aucune résistance n'étant connue par ailleurs. D'autre part, le sujet était très compétitif au niveau international mobilisant des équipes de recherche importantes à Taiwan et en Australie sur ce grave problème économique concernant une de leurs cultures alimentaires majeures. Le virus (*Banana bunchy top virus*, BBTV) était classé comme membre possible de la famille *Luteoviridae* rassemblant les virus du phloème transmis pour pucerons selon le mode persistant. En effet, Magge (1927) avait observé associée à des tirets verts foncés typiques (fig. 1A) une désorganisation importante des cellules du phloème et de la chlorophylle. Il avait également démontré une transmission de la maladie par un seul type de puceron, *Pentalonia nigronervosa* Coquerel selon le mode persistant. Ces caractéristiques avaient permis un rapprochement avec le *Potato leafroll virus* (PRLV), lutéovirus limité aux cellules du phloème. J'ai donc combiné plusieurs techniques de purification utilisant des pectinases et cellulases pour libérer les particules supposées concentrées dans les cellules du phloème des bananiers, seule plante hôte du virus. Des centrifugations différentielles sur coussin de saccharose m'ont permis ensuite d'éliminer les débris végétaux et fibreux du bananier. J'ai ainsi pu obtenir les premières particules virales isométriques du BBTV de 18-20 nm de diamètre. Ces particules étant obtenues systématiquement à partir de bananiers infectés par pucerons, et la majorité des postulats de Koch étant validés, j'ai conclu qu'elles étaient responsables de la maladie du bunchy top.

Ce travail a fait l'objet de deux communications dans des congrès bananier (1987- Sainte Lucie et 1988- le premier Workshop BBTV-Philippines-Los Banos), la rédaction de la fiche technique du BBTV (Fig 1B) parue dans la collection « Technical Guidelines » de la FAO (Frison & Putter, 1989) et a abouti à la première publication de photos de particules virales purifiées dans la revue *Fruit* [ACL-FI 28] (fig 1C). Cette revue avait été choisie stratégiquement par le Pr. J-M Bové pour atteindre rapidement un auditoire large au sein de la filière bananière.

Par la suite, Thomas & Dietzgen (1991) et Wu & Su (1990) ont obtenu des sérums et anticorps monoclonaux à partir de fractions virales purifiées pour des isolats d'Asie et du Pacifique. Les résultats de l'équipe de J. Dale conduits sur la caractérisation génomique ont permis au cours des 10 ans qui ont suivi,

d'élucider le génome multicomposants du BBTv constitué de 6 molécules d'ADN simple brin circulaire de 1kb, chacune encapsidée séparément, et de le proposer comme candidat du nouveau genre *Babuvirus*, famille *Nanoviridae*.

1-2 Une expérience de recherche/développement en virologie tropicale (déc 1989 – juillet 1996)

A la fin de mon doctorat, j'ai intégré le CIRAD à Montpellier avec pour mission la mise en place d'une équipe de recherche en virologie opérationnelle, dédiée au programme bananier puis étendue rapidement au programme agrume sur le site stratégique (car hors zone de production) de Montpellier, son animation et sa reconnaissance internationale.

➔ Les virus des bananiers

L'activité de recherche sur les virus des bananiers a débuté par l'organisation, six mois après mon recrutement, d'un atelier international de 10 jours sur le BBTv regroupant les 3 virologues leaders (Pr. J. Su, J. Thomas, J. Dale) impliqués sur les virus de la banane et leurs étudiants (15 personnes). Cet atelier a consisté en 10 jours de laboratoire et deux jours de restitution/discussions en plénière avec des personnalités réputées en épidémiologie tropicale comme le Pr. M. Thresh, épidémiologiste renommée de la maladie du gonflement des tiges du cacaoyer et de la mosaïque du manioc en Afrique. L'objectif de comparer dans un même laboratoire les outils développés par les diverses équipes asiatiques et australiennes pour diagnostiquer la maladie a permis de définir les protocoles d'utilisation des premiers outils sérologiques et moléculaires disponibles. Les discussions plénières ont abouti à un **schéma de contrôle des virus** des bananiers pour des échanges internationaux sécurisés de matériel végétal, schéma toujours d'actualité. L'INIBAP (International network for the improvement of banana and plantain), renommé *Bioversity international*, a appliqué ce schéma et fédéré le programme **Musa Germplasm Exchange System** (MGES). Ce programme est basé sur un centre de transit hébergeant le germplasm bananier localisé en Belgique (international transit center, ITC) et deux centres internationaux d'indexation virologique (virus indexing center, VIC) localisés au sein d'instituts conduisant des recherches en virologie sur bananier. L'un des centres est dirigé par le Dr. J. Thomas (QDPI Australie) et j'ai, depuis 1989, la responsabilité du deuxième basé au CIRAD à Montpellier (serres de quarantaine). Cette activité (indexation de 1400 accessions tout virus) a fait l'objet de nombreuses communications et posters dans les congrès et animations du monde de la banane.

Cette position m'a permis de développer des activités de recherche en collaboration avec le Dr. J. Thomas. Nous avons ainsi obtenu un projet financé par l'INIBAP pour préciser l'étiologie des maladies virales du bananier autres que celle du BBTv comme **la mosaïque des bractées** (*Banana bract mosaic virus*, BBrMV) ou **la mosaïque atténuée** (*Banana mild mosaic virus*, BanMMV) et produire des outils facilitant leur diagnostic. Ces travaux nous ont permis jusqu'à aujourd'hui de développer divers outils et techniques de diagnostic [ACL-FI 16, 18] et de co-publier sur les virus des bananiers (chapitres de livres et Technical guidelines – fiches techniques virus INIBAP (Thomas et al., 1994) sur la base de celles que j'avais élaborées pour le CIRAD) et, de réaliser une expertise commune en 2000 pour définir une politique de lutte contre la propagation du BBTv suite à son introduction en Nouvelle Calédonie. Un **rapport** a été remis aux autorités gouvernementales du pays.

J'ai également été sollicitée pour réaliser de nombreuses expertises (MAE), organiser des ateliers de travail, des formations et donner des conférences au Burundi, Rwanda et Zaïre (1992-1993), Israël (1993), Philippines (1995) et Colombie (1994) sur ce sujet.

J'ai enfin élaboré avec la société de vitroplants de bananier VITROPIC un schéma de micropropagation de plants de bananier sécurisés vis à vis des infections virales que nous avons su faire évoluer au cours des années en accord avec leur démarche qualité et qui participe à l'identité de la société VITROPIC aujourd'hui.

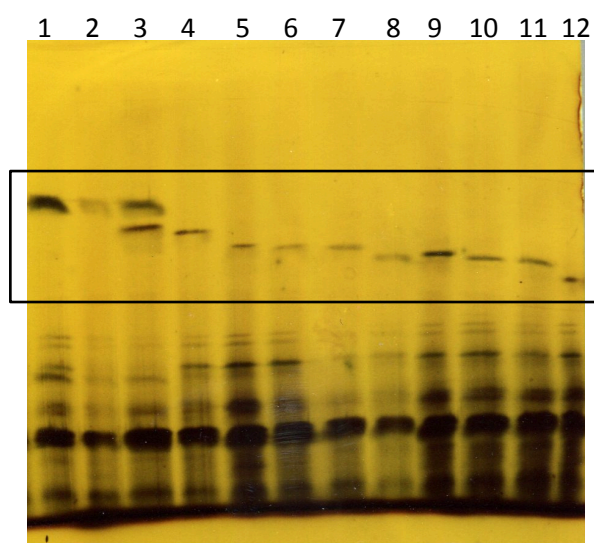


Figure 2 : Profil électrophorétique sPAGE de la collection de viroïdes extraits à partir de Cédratier Etrog en Corse
 1-CEV117, 2- CEV 129, 3-CV Ia, 4-CV Ib, 5-CV IIa, 6-CV IIb, 7- CV IIc, 8-CV IIIa, 9-CV IIIb, 10-CV IIIc, 11-CV IIId, 12-CVIV

➔ Les virus des agrumes

L'activité conduite sur les agrumes a porté essentiellement sur l'amélioration du diagnostic des viroïdes et du virus de la tristeza (CTV), dans le cadre de production de plants sains. J'ai ainsi travaillé en étroite collaboration avec mon collègue agronome (Christian Chabrier) et son équipe (4 techniciens) basés à la station expérimentale INRA -CIRAD de San Giuliano en Corse, en charge de la régénération du germplasm agrumes en collection vivante plein champ et introduits pour une diffusion mondiale, afin d'en assurer la qualité sanitaire.

a- **Les viroïdes**, ARNs monocaténaires circulaires et linéaires non-encapsidés de 246 à 371 nucléotides ayant une forte structure secondaire, sont les plus petits agents pathogènes connus à ce jour. Au moins 11 viroïdes ont été décrits sur agrumes et deux sont rapportés comme responsables de maladies graves, la maladie de l'exocortis et de la cachexie dues respectivement au *Citrus exocortis viroid* (CEV) et au CVIIB. A cette période, l'indexation était longue et coûteuse car elle consistait en une indexation biologique en serre à 37°C après greffage sur plante indicatrice, le cédratier Etrog, de plus de 2 ans. Elle a été remplacée par la méthode utilisant deux électrophorèses successives en gel de polyacrylamide 5% (sPAGE) en conditions standards puis dématuration en urée 8M à partir de cédratiers Etrog inoculés par les échantillons à analyser 3 mois auparavant. La méthode sPAGE urée développée sur agrumes par N. Duran-Vila à l'IVIA (Instituto Valenciano de INvestigaciones Agrarias), Espagne (Duran-Vila et al., 1988) permet de séparer selon leur taille et leur forme les différents viroïdes connus et inconnus. Une série de missions en Corse ont abouti à la maîtrise de cette technique par l'équipe et à son optimisation pour une indexation en routine à moindre coût (fig. 2). Elle a permis également à l'équipe de suivre l'essai plein champ visant à étudier l'impact des viroïdes seuls et en association sur les agrumes. Ces travaux ont été présentés à des congrès, publiés [ACL-FI 27] et des formations ont ensuite été dispensées soit au laboratoire à Montpellier soit dans les différents pays (collègues des Antilles et partenaires d'Afrique du Nord). Le diagnostic des viroïdes par RT-PCR aujourd'hui pratiqué n'a été développé que plus tard par Garnsey et al. (2002).

b- **Le virus de la tristeza des agrumes** (*Citrus tristeza virus*, CTV) est un closterovirus localisé dans les cellules du phloème des plantes et plus particulièrement identifiable dans l'écorce de jeunes rameaux d'agrumes. La maladie, présente dans le bassin méditerranéen et attaquant sévèrement les vergers espagnols, représentait une menace sérieuse pour les vergers de Corse indemnes, les pucerons vecteurs étant présents. Seule une souche atténuée du virus décrite sur kumquat avait été éradiquée de Corse. Il importait donc de veiller à ce que la collection agrume plein champ et les parcs à bois ne soient pas contaminés suite à des introductions sauvages possibles. J'ai ainsi mis en place les premiers contrôles (détection sur place par ELISA et interprétation des résultats à l'aveugle à Montpellier) des arbres des vergers de la station et défini un schéma de suivi systématique des parcs à bois et des parcelles expérimentales avec l'équipe de Corse. Nous avons en moins d'une année réalisé plus de 4000 analyses en utilisant la technique sérologique de détection ELISA et identifié trois foyers anciens de CTV qui n'avaient heureusement pas donné lieu à diffusion de la maladie. Les plants ont été immédiatement éradiqués et les vergers depuis sont régulièrement contrôlés. Les introductions étant régulières, la station de recherche n'a pas pu être suspectée lors de l'identification de foyers de CTV dans les vergers corses en 1998.

D'un point de vue scientifique, cette étude a permis de comparer deux techniques sérologiques disponibles, l'ELISA technique de référence et le direct blotting DBA en termes de sensibilité et reproductibilité pour un suivi régulier du CTV au champ. La technique DBA consiste en une empreinte de tige de jeunes rameaux ou flush préalablement coupée avec une lame sur une membrane de nitrocellulose pour un traitement sérologique ultérieur au laboratoire et observation de la coloration du phloème sous microscope optique lors d'infection. La technique DTB s'est révélée la plus adaptée au suivi en parcelle en termes d'efficacité comme de sensibilité. Le prélèvement des jeunes pousses se faisant à la main est rapide sans

nettoyage d'outils. Cela ne nécessite ni échantillonnage ni stockage et évite les erreurs. Cette technique a été transférée aux laboratoires de Corse ainsi qu'aux Antilles par la suite pour un suivi du CTV dans les vergers, et publiée [ACL-FI 26]. J'ai formé des chercheurs étrangers (Maroc, Algérie, Portugal), mes collègues agronomes des antilles à ces techniques et appuyé d'autres collègues lors de la réalisation de thèses sur le greening des agrumes (M. Grisoni) et la diversité de souches CTV en Colombie (C. Vernière lors de l'encadrement de la thèse de M. Guzmán).

Durant cette période, 18 chercheurs/ingénieurs et 9 étudiants ont été formés au diagnostic des maladies virales et sensibilisés à l'importance de production et d'échanges de matériel végétal indemne. J'ai réalisé de nombreuses expertises, animé trois ateliers et présenté mes résultats à des congrès. Mon activité principale a été de générer des outils de diagnostic fiables et de développer des procédures de production de matériel végétal indemne afin de sécuriser les échanges internationaux pour le bananier comme pour les agrumes. La principale difficulté et le véritable challenge ont consisté à établir rapidement une expertise scientifique qui n'existaient pas au CIRAD, tout en répondant aux nombreuses demandes d'analyses relevant le plus souvent de la protection des végétaux et de mes collègues pathologistes et agronomes CIRAD expatriés. J'ai rapidement bénéficié de deux techniciens que j'ai formés à la virologie pour m'appuyer dans ma mission et le laboratoire de Montpellier est devenu progressivement « Laboratoire de référence pour le diagnostic viral des bananiers », l'objectif assigné était atteint.

Il m'a été cependant difficile de conduire une activité de recherche suivie qui me permette de publier régulièrement dans des revues à facteur d'impact tout en générant des ressources propres (statut Epic du CIRAD oblige) et en répondant aux nombreuses sollicitations de mes collègues. De plus, bien que localisée dans une unité regroupant des virologues et pathologistes du CIRAD et de l'IRD, le LPRC (laboratoire de phytovirologie des régions chaudes), il n'y avait aucune dynamique scientifique collective et les finalités du CIRAD n'identifiaient que des produits exploitables sur le terrain.

1-3 Une expérience de recherche en partenariat et en expatriation (sep 1996 – fév 1999)

A ce stade de ma jeune carrière et après 7 ans d'activité, j'ai souhaité une expérience en expatriation afin de vivre la réalité d'une recherche en virologie sur le terrain et comprendre les besoins des partenaires en termes de possibilités et contraintes au quotidien. En accord avec ma direction j'ai été affecté aux Antilles. L'enjeu de cette expatriation était en priorité de développer un partenariat de recherche avec l'INRA dans les DOM sur la base d'un projet intégratif d'intérêt partagé sur « les gémiovirus des solanacées » et, de maintenir l'activité d'expertise virologie de Montpellier tout en la déployant dans la zone Caraïbe, Amérique Centrale et Latine. Pour réaliser ces missions, j'ai souhaité être basée à l'unité URPV de l'INRA, station de Prise d'eau en Guadeloupe, où j'ai installé un laboratoire de virologie des plantes, seul laboratoire de ce type pour les Antilles, appuyée par une technicienne INRA que j'ai formée à la virologie. Cette localisation a permis le rapprochement avec les équipes entomologie et génétique des cultures maraîchères de l'INRA, des collaborations avec les institutions locales telles que la SAFER, la FDGDEC et la chambre d'agriculture ainsi qu'avec l'équipe génétique bananier-CIRAD à la station de Neufchâteau-Capesterre.

a- Projet intégratif « Etude des interactions Bemisia/bégomovirus/plantes maraîchères » - Partenariat INRA

Au début des années 1990, des pullulations importantes de l'aleurode *Bemisia tabacci* sur melon entraînaient des dégâts importants de la culture. Parallèlement, une maladie à gémiovirus apparue sur les tomates impactait de manière importante cette culture avec l'impossibilité de cultiver les tomates à certaines périodes de l'année. Avec mes collègues INRA de disciplines complémentaires (entomologie et amélioration génétique), nous avons organisé nos activités de recherche pour bâtir un projet pluridisciplinaire afin d'étudier les relations virus/vecteur/plante du complexe begomovirus/bemisia/tomate-melon et proposer des méthodes de lutte adaptées. Dès le début, nos réflexions ont pris la forme d'un projet intégratif fédérateur visant à « l'identification et la compréhension des mécanismes et du contrôle génétique des résistances des cultures maraîchères à *Bemisia tabacci* et aux gémiovirus ». La mise en œuvre de ce projet nous a rapidement positionné comme une des premières équipes mixtes CIRAD/INRA (17 à 20 personnes) et nous avons dès la

première année et les deux années suivantes, produit un rapport annuel de nos résultats auprès de nos tutelles traduisant la réalité de nos interactions quotidiennes.

Les premiers résultats ont permis d'identifier le biotype B comme majeur pour l'aleurode *Bemisia tabaci* sur melon capable de transmettre le begomovirus bi-partite, *Potato yellow mosaic virus* (PYMV) que nous avons identifié comme seul responsable de la maladie sur tomate en Guadeloupe. Les dégâts occasionnés pouvant aller au delà de 40% de perte à la plantation, les recherches se sont orientées vers une meilleure connaissance du pathosystème et de son adaptation afin d'identifier des méthodes de lutte intégrée (fig. 3).

J'ai orienté les recherches en virologie vers la caractérisation des différents isolats viraux, leur répartition/prévalence en Guadeloupe, et étudié leur transmission. L'objectif était de générer les connaissances utiles au développement d'études épidémiologiques ainsi qu'à l'identification chez la tomate de résistances partielles et totales tant au vecteur qu'au virus. Ces résultats ont fait l'objet de présentations à des congrès, m'ont permis d'avoir un **Post-Doc (Cica Urbino)** de deux ans financé par l'INRA, ainsi qu'un **poste de vataria** (ingénieur ; **Gaëtan Lebrize**), de former des étudiants (TP d'une semaine niveau maîtrise de l'Université Antilles Guyanes) et de développer une collaboration avec Jane Polston (Université de Floride) qui a abouti par la suite à une publication [ACL-FI 22].

La dynamique scientifique mise en place autour de ce projet fédérateur s'est amplifiée par la suite en incluant à nos études un autre begomovirus, le monopartite *Tomato yellow leaf curl virus* TYLCV, avec l'association de nos collègues CIRAD (Martinique, Montpellier et Ile de la Réunion) travaillant sur les mêmes problématiques au travers d'un projet national Fond Commun CIRAD/INRA. Elle a également rayonné dans l'arc Caraïbe au travers du projet européen 5ème PCRD INCO-Dev « BETOCARIB » (2002-2006) (<http://betocarib.CIRAD.fr>) dont j'ai assuré la coordination scientifique à la demande de mes collègues de Guadeloupe alors que je n'étais plus en poste aux Antilles. Ce projet impliquant 6 instituts (UWI, ISA, CENSA, IHL, CIRAD, INRA) des Caraïbes (Trinidad, la République Dominicaine, Cuba, Guadeloupe/Martinique) et 1 institut (NRI) d'Europe (Royaume Uni) a permis de positionner l'équipe au niveau international. Les principaux résultats de méthodes de lutte raisonnée (type IPM Packages) contre les deux begomovirus présents dans les Caraïbes et adaptées à chaque écosystème insulaire ont été issus du modèle prédictif épidémiologique que nos collègues du NRI (Dr. John Holt et Dr. Tim Chancellor) ont construit sur la base de nos données expérimentales. Ce dernier a permis de montrer l'importance de l'utilisation de résistances variétales, de barrières naturelles et de techniques culturales permettant de diminuer significativement les pesticides. Enfin l'originalité de ce projet a été de développer un système de piégeage des aleurodes à différentes hauteurs grâce à un système de mats, système qui a été repris par la suite par nos collègues entomologistes de l'Ile de la Réunion et nos partenaires pour leurs études de flux de populations vectrices. Les connaissances académiques nécessaires à la mise en place du modèle ont donné lieu à 17 publications, 21 communications et à la formation d'étudiants (3 thèses, 3 masters) par les différentes équipes impliquées.

b- « Les virus des bananiers, contrainte pour l'amélioration génétique » – collaboration généticiens CIRAD

Depuis les années 1993/1994, les généticiens du programme bananier du CIRAD étaient confrontés à des infections spontanées par le virus de la mosaïque en tirets des bananiers (*Banana streak virus*, BSV) sur des hybrides interspécifiques nouvellement créés. D'une part, ils observaient régulièrement des plants présentant des symptômes pour environ 50% pour chaque descendance issue de croisements interspécifiques. Aucune contamination naturelle n'était possible et ces hybrides étaient issus de parents non infectés. D'autre part, des hybrides interspécifiques sains issus des programmes d'amélioration génétique et micropropagés par CIV, montraient un taux d'infection important (au delà de 80%) une fois plantés dans des zones et pays indemnes de maladie. Enfin, aucun diagnostic du BSV par PCR n'était possible car des produits d'amplification étaient systématiquement obtenus que les plants soient sains ou infectés. La seule explication, émise par le Pr. Lockhart, proposait **la présence de séquences virales BSV dans le génome B de ces bananiers** dont certaines

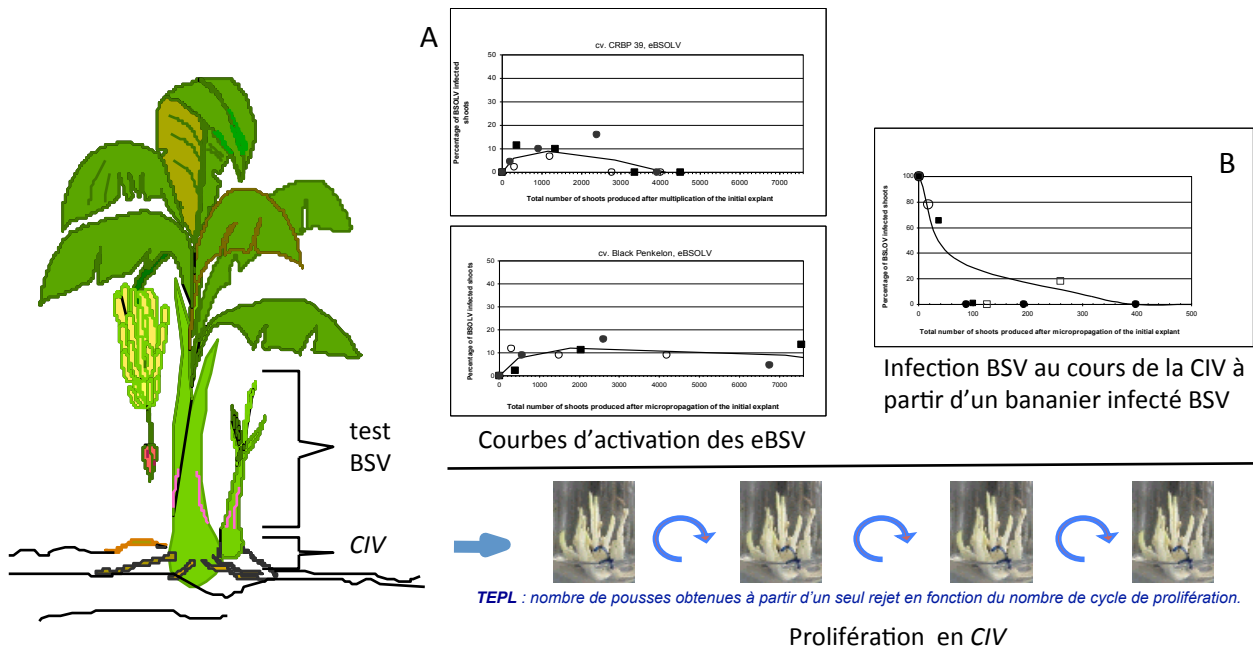


Figure 4 : Analyse de l'activation des séquences BSV endogènes (eBSV) au cours de la CIV pour un hybride naturel (Black Penkelon et un hybride crée CRBP 39

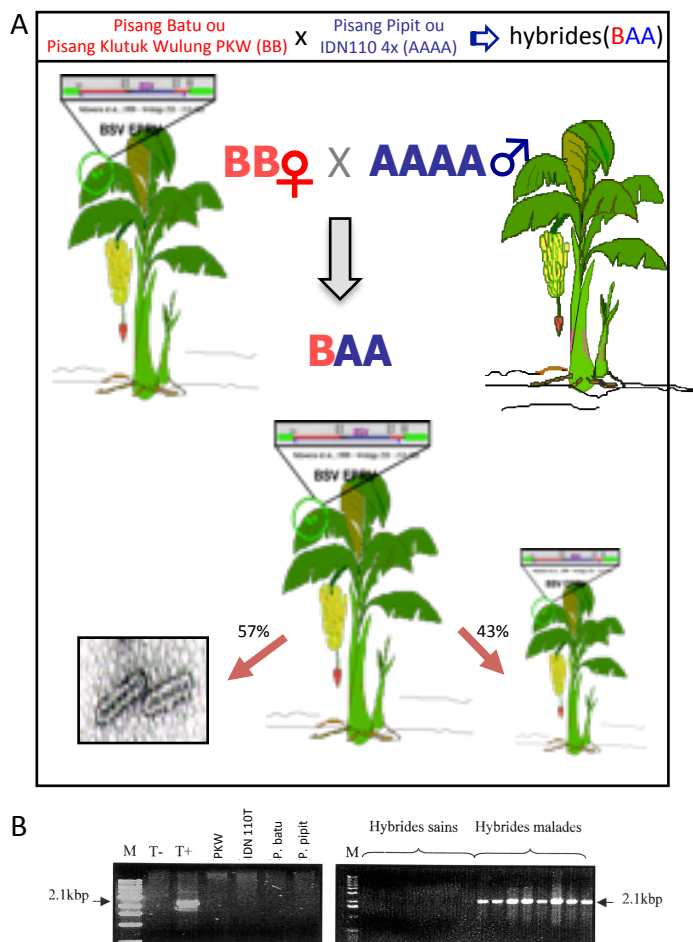


Figure 5 : Analyse préliminaire de la répartition BSV dans la population F1
A : Schéma du croisement réalisé ayant la moitié de la descendance infectée
B : Détection BSV par IC-PCR sur un échantillonnage représentatif des hybrides F1

seraient à l'origine de l'infection (Lafleur et al., 1996). Le programme CIRAD d'amélioration génétique du bananier étant localisé aux antilles, mon expatriation a été l'occasion de mettre en place une activité de recherche sur cette problématique atypique pour comprendre l'étiologie de ces infections spontanées BSV.

➔ *Rôle de la CIV dans l'infection spontanée du BSV*

Le bananier se multiplie essentiellement végétativement, la culture est basée sur un nombre restreint de clones sensibles aux maladies et ravageurs et la demande de diversification de la filière en Amérique Centrale était grandissante afin de cultiver des bananiers résistants à la maladie fongique des raies noires. La priorité de mes études a donc été donnée à l'étiologie d'infections spontanées et plus particulièrement celle du BSV suite à la propagation de masse par CIV d'hybrides interspécifiques nouvellement créés. Ce travail a été réalisé en partenariat avec le Dr. Pilar Ramirez de l'université du Costa Rica. Nous avons identifié **un sujet postdoctoral (Sylvie Dallot, 1998-1999)** qui visait à comprendre les étapes clés de l'infection BSV pour l'hybride tétraploïde FHIA 21-(AAAB) créé pour être résistant à cette maladie fongique. Les travaux ont montré que l'infection virale apparaît massivement dès les premières étapes de CIV et que la phase de prolifération est l'étape déterminante de l'activation de l'infection. Les phases ultérieures d'amplification végétale ont peu ou pas d'effet activateur. Cette expérimentation réalisée à partir d'individus indemnes de BSV et demandant la manipulation d'une quantité importante de lignées végétales a été unique. Elle a fait l'objet d'une publication [ACL-FI 24] qui est restée la publication de référence de l'activation de l'infection BSV par CIV à partir de plants indemnes pendant plus de 10 ans.

J'ai abordé par la suite la question de l'effet de la CIV sur des hybrides interspécifiques naturels comme les plantains (AAB) afin de répondre aux questions de mes collègues agronomes quant au risque réel de diffusion du BSV lié à cette diversification de la culture. Nous avons démontré avec mon collègue physiologiste cellulaire F. Cote et en partenariat avec le CARBAP (Centre Agronomique de Recherche Banane et Plantain, Cameroun) et la société de production de vitroplants bananiers, Vitropic, le phénomène générique de **l'activation par CIV de séquences BSV présentes dans des génomes B de bananiers naturels interspécifiques** comme le plantain AAB [ACL-FI 10]. Nous avons établi que le % maximum de plants infectés variait de 5 à 20 % selon le génotype bananier analysé et l'espèce BSV, et diminuait fortement avec l'augmentation des subcultures (fig. 4A). Nous avons expliqué ces pourcentages en montrant l'existence d'un effet 'cleaning' de la CIV. Nous avons pour cela réalisé des subcultures à partir de bananiers infectés n'ayant pas de séquences virales endogènes et montré une diminution significative de plants infectés proportionnelle au nombre de subcultures réalisées (fig. 4B). Nous avons conclu à une vitesse de multiplication cellulaire supérieure à celle de la multiplication virale comme explication à cet assainissement due à un nombre de cellules infectées relativement faible. La courbe observée après activation de séquences virales endogènes dans un nombre restreint de cellules serait la résultante de la compétition entre multiplication virale et cellulaire.

➔ *Rôle de la génétique dans l'infection spontanée du BSV*

Parallèlement, l'urgence était de comprendre l'étiologie des infections BSV sur les hybrides en cours de création. Avec mes collègues généticiens en Guadeloupe (C. Jenny et F. Carreel) nous avons testé la nature génétique de l'étiologie du BSV. La présence de virus n'étant pas corrélée à l'observation de symptômes, j'ai tout d'abord observé la distribution virale au sein d'une population de 62 individus nouvellement créés à partir d'un parent diploïde *Musa balbisiana* (BB) Pisang batu et d'un parent diploïde *Musa acuminata* (AAAA) Pisang pipit doublé à la colchicine, tous les deux sains (fig. 5A) (CDD de 6 mois **Fabrice Lheureux**). La technique d'immunocapture PCR (IC-PCR) qui permet d'amplifier l'ADN viral à partir des virions préalablement capturés par le sérum évitant les pollutions génomiques végétales a été utilisée (fig. 5B). Cette technique étant peu maîtrisée à l'époque car récemment utilisée chez les plantes et qui plus est chez le bananier, j'ai doublé l'analyse par une observation systématique des virions en microscopie électronique après semi-purification vi-

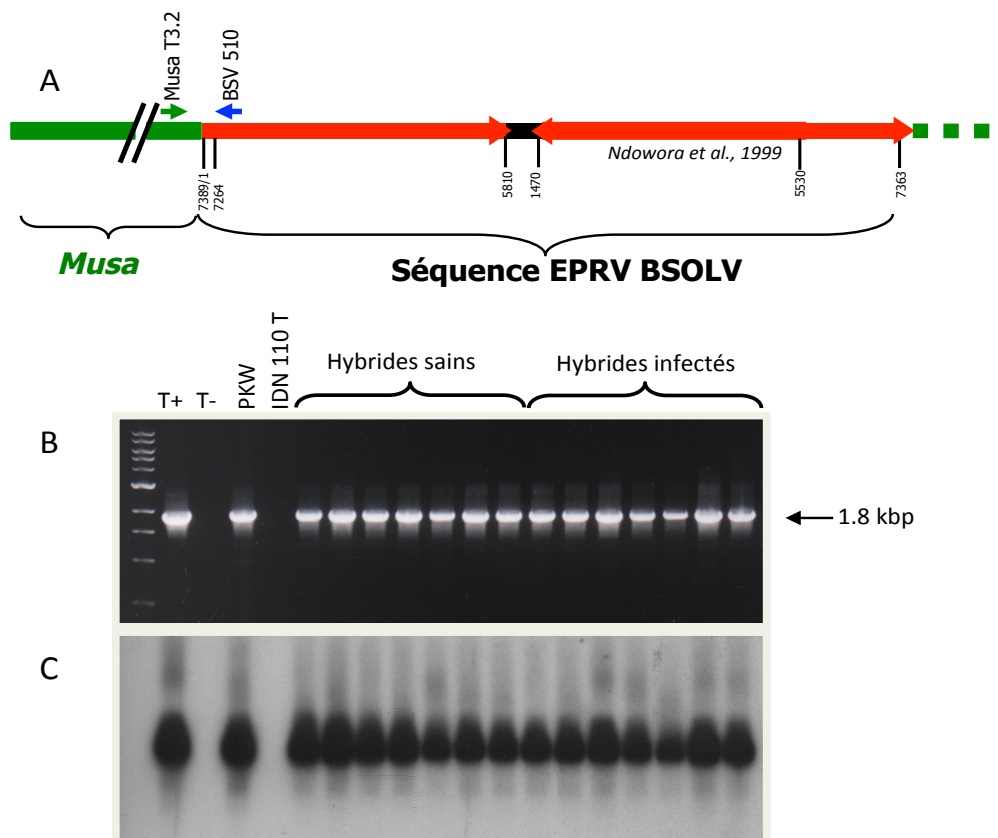


Figure 6 : Analyse de la répartition des EPRV BSOLV dans la population F1
 A : Schéma de l'EPRV BSOLV chez l'hybride Obino l'Ewai selon Ndowora et al., 1999
 B : PCR utilisant les amorces mixtes (Musa T3.2/BSV 510) sur un échantillonnage Représentatif des hybrides F1
 C : Hybridation des produits PCR avec une sonde virale BSOLV

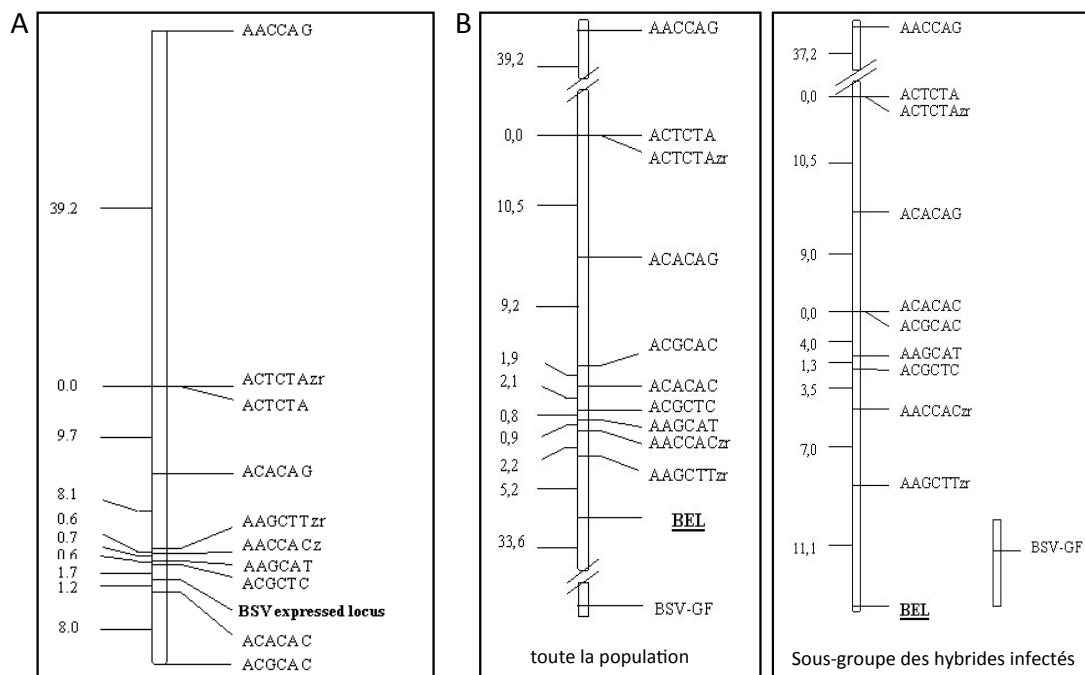


Figure 7 : Carte génétique du facteur BEL chez PKW et P. batu
 A : Analyse des données selon l'infection par BSOLV ou BSIMV
 B : Analyse des données selon l'infection BSGFV

-rale. Les résultats indiquaient une ségrégation génétique de l'infection sur la descendance stérile triploïde (AAB). Ces résultats préliminaires ont fait l'objet d'un rapport d'ingénieur (**Elise Druet**). Rapprochés de ceux de Ndowora et al., (1999) qui avaient entre temps partiellement caractérisé des séquences BSV espèce OL dans le génome du plantain naturel Obino l'Ewai (AAB), ils ont permis de postuler sur des séquences virales présentes dans le génome du bananier à l'origine des infections. Nous avons mis en place un sujet de thèse (**Thèse de F. Lheureux**) en partenariat avec le **Pr. Lockhart** dont l'objectif était de rechercher le déterminant génétique de l'infection à partir de la population hybrides comportant 249 individus interspécifiques tétraploïdes (AAB) issues du croisement utilisant un parent femelle diploïde *M. balbisiana* (BB) Pisang klutuk wulung (PKW) et un parent mâle tétraploïde *M. acuminata* (AAAA) IDNT, tous les deux indemnes de BSV.

Au cours de cette thèse, nous avons confirmé la ségrégation mendélienne de la maladie avec une répartition pour 50% des individus de cette population. N'ayant aucun autre marqueur génétique que l'EPRV BSOLV pour suivre la ségrégation de la maladie, nous l'avons utilisé comme gène candidat afin de tester son implication dans la restitution de la maladie. La séquence partielle décrite (Ndowora et al., 1999), et plus particulièrement la zone d'intégration a été utilisée comme marqueur de présence de l'EPRV. Des amorces dites « mixtes » désignées sur le génome bananier et sur l'EPRV BSOLV (fig. 6A) ont permis de cribler les parents et la population F1 sans interférer avec le virus libre. Les résultats ont montré l'existence de cette séquence chez le seul parent BB et pour toute la descendance AAB indiquant qu'elle était **restreinte au génome B**, et présente à **l'état homozygote** (fig. 6 B et C). Les marqueurs utilisés n'étant pas discriminants pour tester si l'EPRV était l'élément génétique recherché, une analyse de type « Bulk segregant analysis » a montré que 10 marqueurs AFLP étaient présents chez les diploïdes *M. balbisiana* (PKW et P. batu) dont 7 ségrégants avec la présence de BSV et 3, situés sur le chromosome homologue, avec l'absence d'infection. **Une carte génétique du locus BEL** (BSV expressed locus) chez le parent femelle (BB) a été obtenue par analyse moléculaire (AFLP) de la ségrégation du BSV (logiciel Mapmaker). Cette ségrégation a montré **un déterminisme génétique monoallélique** qui confère le rôle de porteur sain aux parents diploïdes PKW et P. batu (fig. 7A). Ce travail a fait l'objet d'une publication [ACL-FI 23].

La caractérisation des espèces BSV présentes chez les hybrides a identifié systématiquement les espèces OL, IM et GF restituées dans des proportions de 50% pour les deux premières et 25% pour la dernière. BSOLV et BSIMV étant restituées dans les mêmes proportions, nous avons conclu que leurs expressions étaient toutes deux dépendantes du facteur BEL. L'analyse similaire des données selon la ségrégation spécifique de BSGFV sur la population totale comme restreinte au sous-groupe des hybrides infectés n'a pas montré de lien génétique au facteur BEL mais l'existence d'une subordination (fig7B). Ces résultats indiquent de plus que BEL est de nature différente des EPRV et à l'état **hétérozygote**.

Face à l'évidence d'intégrations anciennes d'au moins trois espèces BSV dans le génome B, nous nous sommes posé la question de l'avantage liée à leur présence pour les diploïdes naturels tels que PKW et P. batu porteurs sains d'EPRV. L'hypothèse d'un bénéfice de type résistance naturelle faisant appel aux mécanismes d'ARN interférant tel qu'avancés par Matzke et al., 2000 nous ont amené à tester la résistance à la multiplication virale pour BSOLV et BSGFV chez ces bananiers. Aucune infection par cochenilles n'a pu être obtenue, confirmant le caractère résistant de ces deux diploïdes quelle que soit l'origine de la multiplication virale.

Au terme de cette expérience sur ces deux projets, j'ai acquis un savoir faire dans la conduite d'activités de recherche et d'encadrements dans un contexte international inter-institutionnels, inter-disciplinaires et expatrié (zone DOM). J'ai également étendu mes questionnements de recherche à la génétique, entomologie et épidémiologie dans une optique de gestion de risques, de propagation et d'émergence de maladies.

2- Origine de l'émergence virale sur plantes tropicales - Projet Transversal

Alors que se mettait en place cette activité de recherche (**thèse Fabrice Lheureux**) sur le BSV en Guadeloupe en complément de mon implication sur le projet intégratif en partenariat avec l'INRA, le Directeur Scientifique du CIRAD (Pr. M. Dron) m'a proposée le poste de Délégué Scientifique de la Mission Défense des Cultures (MIDEC) (nov. 1998 à janv. 2001). Il m'a confié l'animation scientifique de 90 chercheurs dont la majorité était en expatriation, afin de faire émerger une identité CIRAD en « Défense des Cultures » en lien avec le concept de « Protection Intégrée ». Il m'a également demandé d'identifier des questionnements fédérateurs pouvant faire l'objet de projets transversaux.

2-1 Animation et coordination scientifique institutionnelle en Défense des plantes

J'ai tout d'abord travaillé à la mise en cohérence et lisibilité des activités du CIRAD au plan national et international. J'ai pour cela décliné différents volets de l'animation scientifique (organisation de conférences, appui au montage de projets de thèses, post doc, de projets européens INCO, fonds communs CIRAD/INRA, Fondations RPA-Aventis ...) été la représentante IPM-Europe pour la France et élaboré la plaquette « Integrated crop protection at CIRAD » associée à des fiches de compétences des équipes Cirad par domaines. Ces diverses actions m'ont permis d'avoir une meilleure connaissance de l'impact et finalités des actions de recherche conduites dans le champ disciplinaire notamment à travers les fiches « compétences ».

Au plan institutionnel, m'appuyant sur les compétences des scientifiques, j'ai réalisé une prospective scientifique des principales disciplines du champ de la MIDEC. Ce travail m'a permis de réaliser une analyse de l'évolution des thématiques populationnelles, évolutionniste, mécanistiques et génomiques et de proposer une stratégie institutionnelle en défense des cultures mettant en perspective nos compétences et celles à acquérir. Sur cette base, j'ai contribué à la rédaction du projet stratégique CIRAD 2000-2010, défini et défendu les priorités de recrutement CIRAD (plus de 70 demandes) pour la MIDEC lors de la relance stratégique phase 1 et 2 (recrutement de 125 personnes au total pour le CIRAD).

Enfin en croisant ces actions, j'ai identifié des collectifs rassemblant des petites équipes et des chercheurs autour de thématiques nouvelles ou à renforcer/développer pour le CIRAD en pathologie végétale et identifié quatre **projets transversaux** dont un rapprochant la santé animale et végétale. C'est dans ce cadre que j'ai conduit la réflexion sur « L'identification des facteurs déterminants de l'émergence et ré-émergence des maladies virales » en lien avec les enjeux de développement consistant à identifier des méthodes de gestion intégrée des cultures. J'ai favorisé une approche intégrative basée sur l'étude des mécanismes d'adaptation des virus en faisant le constat que les émergences virales découlaient souvent de nouvelles méthodes de culture et/ou de transformation des paysages ainsi que d'une demande de diversification des produits perturbant les équilibres établis. Dès lors, sous l'impulsion de grands changements biotiques et abiotiques l'émergence de maladies contagieuses jusqu'alors cantonnées à des zones connues et contrôlées pouvait représenter une menace grandissante dans certains cas économiquement dommageable. Néanmoins aucune étude n'avait permis d'identifier avec exactitude les facteurs déterminants permettant d'anticiper ou de gérer durablement l'émergence de telles maladies. Les virus, parasites obligatoires pouvant facilement s'adapter à de nouvelles niches écologiques en cas de nécessité, sont décrits comme ayant une dynamique propre au travers de mutations et recombinaisons qui génèrent des variants. J'ai donc proposé dans un tel contexte d'étudier les voies d'adaptation virale que sont la recombinaison entre génomes viraux ou avec le génome hôte (intégration) et le détournement de fonctions d'autres virus au travers respectivement de l'étude des trois genres géminivirus, badnavirus et potyvirus/flexivirus-potexvirus.

2-2 Programme de recherche pluridisciplinaire sur les séquences pararétrovirales endogènes

La Direction Scientifique et les orientations du CIRAD ayant changées, j'ai pris la décision de démissionner du poste que j'occupais et je me suis investie pleinement dans des activités de recherche en développant la

partie badnavirus du projet transversal sur « l'émergence et ré-émergence des maladies virales » identifié pour la Direction Scientifique.

Entre temps, l'impossibilité de contrôler les activations spontanées d'EPRV BSV et d'identifier les bananiers à risques avait propulsé le BSV au rang de contrainte majeure pour la création variétale bananier. En conséquence, le projet de recherche que j'ai proposé s'est centré sur le pathosystème *Banana streak virus*-BSV/bananier comme modèle d'étude en vue d'aborder le questionnement plus général des conséquences de la présence d'intégrations virales ou **EPRV** (endogenous pararetrovirus) dans **le génome des plantes cultivées**. Il proposait de développer les axes de recherche utiles à la compréhension des interactions du virus avec son hôte et des mécanismes générant une infection afin d'identifier des résistances naturelles, acquises et à construire.

3- L'étiologie de l'émergence mondiale du BSV et son contrôle – Projet de recherche

3-1 La problématique

Les pararetrovirus de la famille *Caulimoviridae* et plus précisément ceux du genre badnavirus se sont révélés des acteurs majeurs d'émergences enregistrées sur les plantes tropicales. Ils présentent de plus une diversité génétique importante. Ces pararetrovirus à génome ADN circulaire double brins non covalents sont, pour certains, responsables de maladies économiquement importantes (Borah et al., 2013). Leur cycle d'infection ne comporte aucune obligation d'intégration dans le génome de leur hôte, cependant un grand nombre de plantes tempérées et tropicales présente des séquences virales intégrées à leur génome ou EPRV (endogenous pararetrovirus). De telles séquences sont décrites aujourd'hui comme pouvant coloniser largement les génomes hôtes (animal et végétal), contribuant à leurs évolutions, résultat de processus d'endogénisation ; elles sont appelées plus communément EVE (Endogenous Viral Elements) (Feychottes et Gilbert, 2013). Ces EVE sont la plupart du temps sans effet majeurs et semblent neutres, certains cependant en contexte de grands changements (stress biotiques ou abiotiques) sont à l'origine de l'apparition de virions et d'infections spontanées de leur hôte en lien avec l'émergence de maladies considérées jusqu'à lors comme mineures. L'existence des EVE, notamment les infectieux, interroge sur les effets bénéfiques de leur maintien pour l'hôte. La nature des interactions en jeu fait l'hypothèse d'une résistance acquise pour la plante résultant de la co-évolution des génomes hôte et virus (Hohn et al., 2008, Hull et al., 2000, Jakowitsch et al., 1999 ; Mette et al., 2002, Matzke et al., 2000). La présence généralisée de ces EVE dans les génomes hôtes en termes de coût/bénéfice ainsi que la nature de leur régulation de type ARN interférant font actuellement l'objet des nouveaux enjeux pour l'agriculture de demain.

Dès 1994, le BSV a posé problème avec l'émergence spontanée du virus et de la maladie liés à la dissémination d'hybrides interspécifiques améliorés sains qu'ils soient issus des programmes d'amélioration de la banane de la FHIA (Honduras), de l'IITA (Nigéria), du CARBAP (Cameroun) ou encore du CIRAD (Guadeloupe). Face à cette émergence généralisée et atypique du BSV, et étant donné le peu de données disponibles pour en comprendre l'origine, il était difficile d'évaluer les risques sanitaires induits afin d'établir des procédures adéquates pour un contrôle durable et une réglementation des échanges bananiers. En ce qui concerne le Cirad, tous les hybrides sains distribués mondialement présentaient des vagues d'infections systématiques dans les divers pays importateurs le plus souvent consécutives à des changements climatiques importants n'existant pas en Guadeloupe. En conséquence, le CIRAD a immédiatement identifié le BSV comme contrainte majeure pour ses programmes d'amélioration génétique, et en 2000 a mis en place un moratoire interdisant toute diffusion et création d'hybrides bananiers interspécifiques en application stricte du principe de précaution. En parallèle, il a décidé de conduire des recherches permettant d'évaluer les risques encourus suite à la diffusion de tels hybrides et de produire des hybrides sans risque BSV. Le Cirad est resté de plus, durant cette période, vigilant lors de la diffusion de cannes à sucre, d'ignames, d'agrumes ou encore d'ananas, toutes plantes hôtes de badnavirus.

3-2 Eléments de contexte

Face à l'urgence d'éclairer le contexte *Musa*-EPRV à risque au cours de la culture et de l'amélioration du bananier, je me suis attachée à confirmer l'origine génétique de l'infection puis à caractériser ce qu'était un EPRV infectieux. Dans un deuxième temps, il m'a semblé essentiel d'évaluer leur distribution et de comprendre le contexte évolutif ayant abouti au maintien de telles séquences dans le génome hôte pour enfin aborder les mécanismes de régulation sous jacents en vu de leur contrôle. L'objectif utile était de discriminer dans les ressources génétiques disponibles, les bananiers utilisables en création variétale sans intégration ou sans risque.

Sans réelle équipe de recherche en début de projet (2001), et forte de mon expérience aux Antilles, j'ai privilégié **une démarche pluridisciplinaire** pour travailler sur la globalité de la problématique et fait appel à des **compétences complémentaires** en génomique, génétique et cytogénétique. J'ai donc conduit mon activité les 8 premières années principalement avec deux étudiants de thèses (**Fabrice Lheureux** (bourse CIRAD et Bioversity International) et **Philippe Gayral** (bourse région LR/CIRAD) et trois post-docs (**Grégoire Leprovost**, **Fabrice Lheureux** et **Cathy Grevesse**) en interactions avec les divers intervenants de la filière au sein du CIRAD tant en **virologie** (virologue-Guadeloupe CIRAD-FLHOR) qu'en **génétique** (génétiens-Guadeloupe, Cameroun, Montpellier- CIRAD-FLHOR) et **génomique** (Montpellier CIRAD-AMIS), et à l'international avec divers partenaires. Notre travail a permis de publier 6 articles [ACL-FI 23, 21, 18, 15, 13, 11].

J'ai obtenu en 2002 deux accueils chercheurs seniors sur action incitative CIRAD-Direction Scientifique : **Dr Ben Lockhart** -chercheur référent en virus de plantes, en virus des bananiers et du BSV/Université du Minnesota USA- et **Dr John Thomas** -chercheur référent en virologie plantes tropicales bananier, ananas et igname QDPI Australie-. Ce dernier s'étant désisté pour raisons personnelles, seul le **Dr Lockhart** a passé un an au laboratoire. Deux publications [ACL-FI 23, 17] et un co-encadrement de la thèse de F. Lheureux (2000-2002) sont issus de cette collaboration.

Le contour d'une équipe de recherche sur « l'origine de la biodiversité des badnavirus » a été initié en 2004 dans le cadre de la reformulation des équipes de recherche au sein de l'UMR BGPI. J'ai ainsi proposé un rapprochement avec **E. Muller** (virologue) qui travaillait sur la caractérisation de la diversité du *Cacao swollen shoot badnavirus* du cacaoyer. L'équipe a par la suite été renforcée avec le recrutement mi-2008 de **M. Chabannes** (génomien) sur le modèle BSV/bananier pour aborder la régulation des EPRV BSV.

J'ai alors finalisé la caractérisation de l'eBSOLV et du contexte d'intégration des trois espèces BSV dans l'espèce *M. babisiana* initiés lors de la thèse de P. Gayral, avec l'encadrement de la **thèse de Pierre-Olivier Duroy** (bourse CIRAD). Son travail, qui a permis de faire le lien entre EPRV et mécanismes de régulation de type ARN interférent, a validé l'EPRV BSV comme marqueur de phylogénie du bananier et abouti à un schéma évolutif retraçant l'interaction du bananier et du BSV (en cours de publication). La globalité du travail de caractérisation des EPRV BSV conduit sur plus de 6 ans a fait l'objet d'une publication [ACL-FI 7]. Chaque avancée scientifique a été l'occasion de publier un pan de l'histoire du pathosystème BSV/bananier [ACL-FI 12, 3, 2] et de poser des hypothèses tant évolutives [ACL-FI 13] que mécanistiques [ACL-FI 8].

En appui à M. Chabannes, j'ai enfin co-encadré la **thèse de Guy Noubissié** (bourse CIRAD) sur la distribution des chromosomes *M. balbisiana* au cours de la méiose lors d'un croisement interspécifique. Ce travail réalisé avec les équipes de génétique et génomique du CIRAD (TGU AGAP) a repositionné notre activité dans le questionnement global de la création variétale et est en cours de publication.

En soutien à mon activité, j'ai obtenu et coordonné **un projet européen 5ème PCRD Recherche 'PARADIGM'** (2002-2006) avec 7 partenaires s'intéressant aux EPRV pour des cultures européennes telles que le tabac, le pétunia ou la betterave. J'ai régulièrement par la suite rédigé ou participé à la rédaction de cinq autres projets de recherche qui ont tous été acceptés : le projet Genoscope "BAC-BSV" (2005-2009)-coordinatrice, l'ATP « L'interférence ARN (ARNi une méthode pour l'induction de la résistance chez la plante et l'animal » (2006-2008) coordinatrice, le projet Agropolis 'Génomique BSV-bananier' (2002-2004), l'ATP « Biolo-

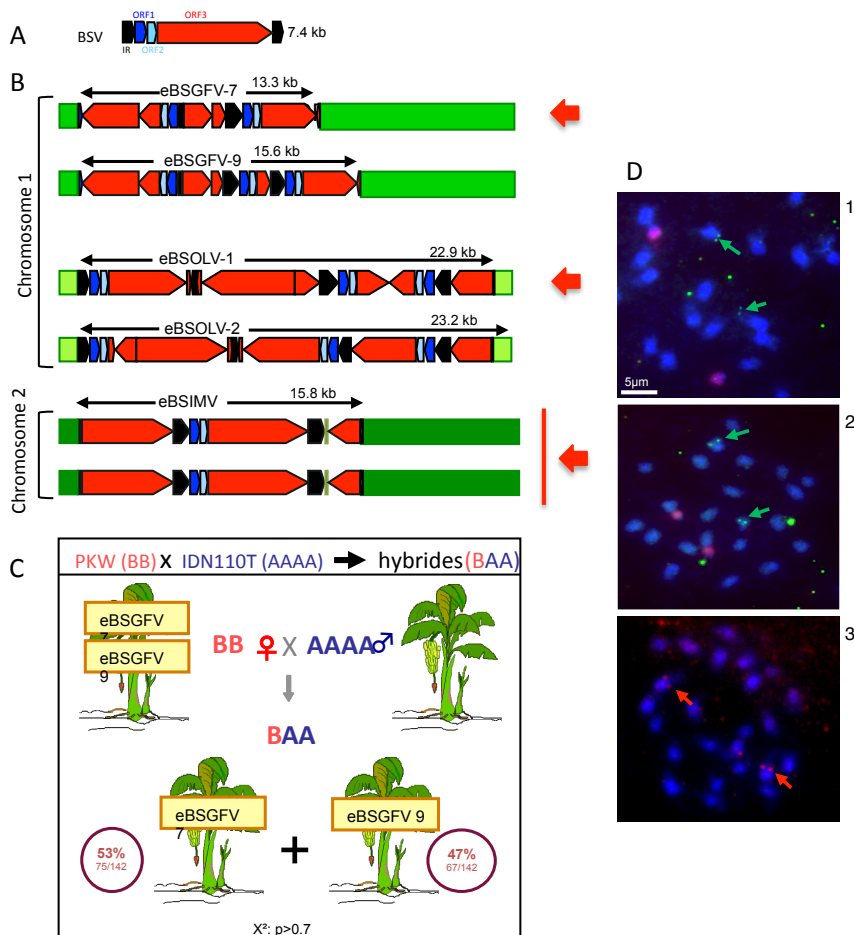


Figure 8 : Caractérisation des eBSV intégrées chez PKW pour les espèces OL, GF et IM

- A : Génome BSV linéarisé, en noir-région intergénique, les ORF I, II et III sont représentées en bleu foncé, bleu azur et rouge respectivement.
- B : Représentation génomique des eBSV chez PKW - les séquences *Musa* sont en vert, les flèches extérieures rouges indiquent l'allèle infectieux.
- C : Analyse de la ségrégation génétique de l'eBSGFV selon les allèles.
- D : Localisation des eBSV sur les chromosomes de PKW issus de cellules de racines par la technique FISH d'hybridation *in situ* utilisant les sondes virales marquées par FITC-vert pour 1(BSGFV) et 2(BSIMV) et par rhodamine-rouge 3(BSOLV).

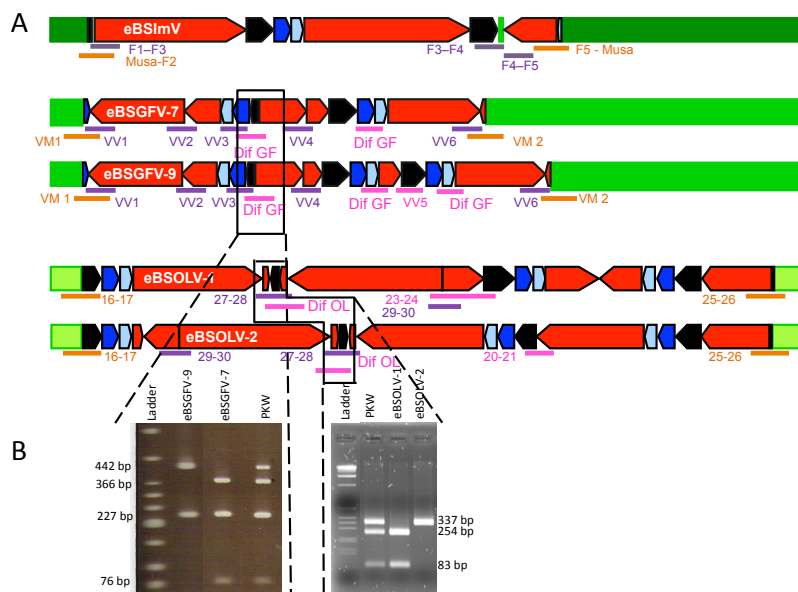


Figure 9 : Localisation des marqueurs PCR and dCAPs pour les eBSV des espèces OL, GF et Im chez PKW.

- A : Les marqueurs de jonction sont en marron, internes en violets et allèles spécifiques en rose.
- B : Illustration des profils discriminants les allèles (1: eBSGFV; 2:eBSOLV) obtenus après utilisation des marqueurs dCAPS sur gel d'agarose

-gie des badnavirus dans les cultures tropicales en relation avec les pratiques d'amélioration des plantes et leur diffusion » pour le modèle BSV/bananier (2004-2006), et dernièrement le projet COST « Plant virus control employing RNA based vaccines : a novel non-transgenic strategy » (2009-2013).

3-3 Le projet et les principaux résultats

Les travaux sont présentés dans leur globalité plutôt que chronologiquement sans traduire systématiquement l'importance du contexte de travail ni de la capitalisation de chaque avancée pour la progression globale du projet. Conduits pendant plus de 15 ans, ils sont rapportés aujourd'hui comme une « success story » en ayant permis la réintroduction sécurisée de génotypes *M. balbisiana* dans les programmes de création variétale par sélection assistée par marqueurs (SAM), marqueurs robustes et uniques issus de nos recherches.

► Caractérisation des intégrations virales infectieuses du bananier

Nos premiers résultats avaient montré une origine génétique des infections BSV sur les hybrides nouvellement créés (cf p40) lié au génome *Musa balbisiana* (noté B) et transmise par les parents diploïdes (BB). Ces résultats associés à ceux de Ndowora et al. (1999) décrivant partiellement l'EPRV BSOLV dans le génome B du cultivar Obino l'Ewai, nous ont conduit à formuler l'hypothèse que le génome B contenait des EPRV à l'origine des infections spontanées BSV pour les espèces OL, GF et IM. Il était dès lors important de connaître la structure exacte d'une intégration virale infectieuse pour dans un premier temps l'identifier dans les géniteurs et ensuite explorer sa régulation.

La réalisation d'une banque de chromosomes artificiels bactériens (BAC) a été retenue pour préciser la structure génomique des intégrations du génome *M. balbisiana* de PKW. En effet, le bananier PKW (BB) est porteur sain des 3 espèces BSV identifiées régulièrement au cours des infections rapportées mondialement et est un des parents *M. balbisiana* régulièrement utilisé lors des croisements génétiques interspécifiques. Les EPRV BSV ont été désignés eBSV (endogenous BSV) lorsque qu'ils avaient des équivalents épisomaux, dans notre étude eBSOLV, eBSGFV et eBSIMV respectivement. Cette proposition taxinomique a été publiée [ACL-FI 14] et est utilisée depuis. La banque BAC hybridée avec des sondes BSV couvrant la totalité de chacun des génomes viraux a restitué peu de clones ayant des eBSV, chacun possédant une seule espèce BSV intégrée. L'analyse par fingerprints de ces clones BAC a montré un seul profil d'intégration pour BSIMV et deux profils pour BSOLV et BSGFV. Ce travail a fait l'objet d'une première publication [ACL-FI 21].

Un clone BAC par profil d'intégration a été sélectionné pour séquençage complet. L'analyse finale des séquences annotées a montré des insertions complexes pour chacune des espèces BSV. Chaque intégrant se présente sous la forme de fragments de séquences virales imbriquées les unes à la suite des autres dans des sens qui peuvent être opposés (« tête bêche ») pour une taille totale supérieure au génome viral linéarisé (fig. 8A et 8B). Ces eBSV présentent un fort % d'identité nucléique (plus de 97%) avec les BSV de références. Les 3 espèces BSV sont insérées chacune à un seul locus, distinct des deux autres. Les eBSV des espèces OL et GF forment chacun deux allèles à un même locus, l'eBSIMV est monoallélique. Les données issues du séquençage total des BAC montrent que les locus d'insertion dans le génome bananier sont différents entre les 3 espèces BSV intégrées. L'eBSGFV est inséré dans un élément transposable (ET) et dans une région riche en gènes alors que l'eBSOLV est inséré dans une région riche en ET.

La localisation chromosomique de chaque eBSV a été précisée par la technique d'hybridation fluorescente in situ (FISH) des chromosomes de PKW en métaphase avec des sondes virales (fig. 8D,) et par une approche de synténie par blast des séquences des clones BAC sur la séquence du génome du bananier Pahang diploïde *M. acuminata* (AA) récemment séquencé. Ces deux expériences nous ont montré que les intégrations de BSGFV et de BSOLV étaient sur le chromosome 1 alors que celle de BSIMV serait sur le chromosome 2.

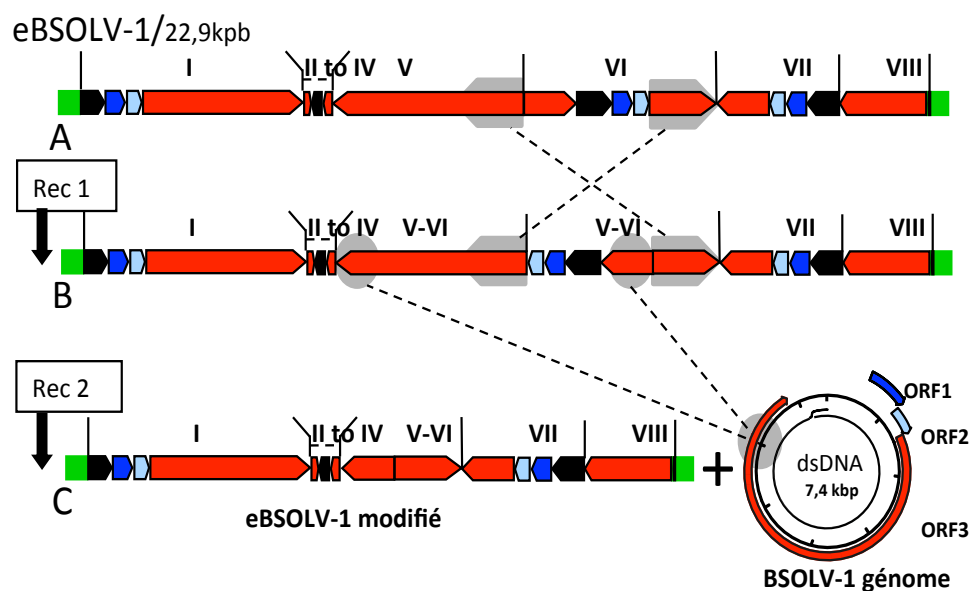


Figure 10 : Restitution d'un génome BSV à partir de l'allèle infectieux eBSOLV-1 par recombinaison homologue.

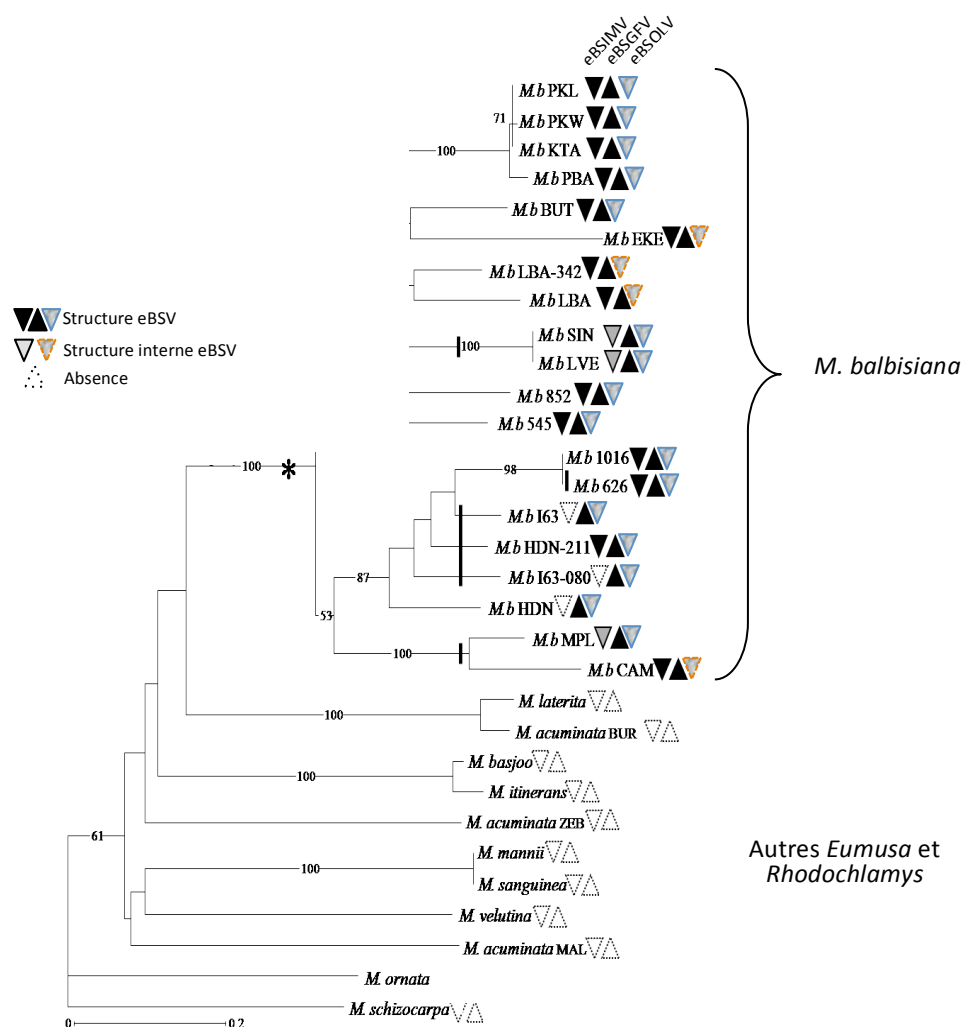


Figure 11 : Phylogénie (NJ) des bananiers *M. balbisiana* intégrant la distribution des eBSV pour les espèces IM, OL, GF.

Des analyses génétiques sur la descendance de PKW (fig. 8C) utilisant des marqueurs PCR et dCAPS spécifiques de chaque allèle eBSV (fig. 9A et 9B) ont ensuite été réalisées. PKW présente un génome hétérozygote pour BSOLV et BSGFV et homozygote pour BSIMV. L'analyse par immunocapture PCR de l'infection BSV ainsi que le typage des particules virales identifient les allèles eBSGFV-7 et eBSOLV-1 comme infectieux. L'analyse *in silico* confirme que seuls ces deux allèles contiennent la totalité du génome viral fonctionnel parmi les fragments viraux. L'eBSIMV ne présentant qu'un allèle, chacune des intégrations de PKW est potentiellement infectieuse. Un modèle théorique de restitution de BSV à partir de chacun des allèles infectieux utilisant deux recombinaisons homologues a été proposé (fig. 10) et publié [ACL-FI 12, 8].

➔ Distribution des intégrations virales pour les 3 espèces BSV au sein de *M. balbisiana*

La globalité des connaissances eBSV développées chez PKW a constitué le socle méthodologique pour aborder plus largement leur distribution et la réalité de leur maintien au sein de la diversité des bananiers *M. balbisiana* disponible afin de retracer leur histoire évolutive. Nous avons dans un premier temps utilisé les divers marqueurs existants (PCR et dCAPS) permettant de distinguer chaque eBSV ainsi que ses allèles. Les marqueurs étant distribués le long de l'eBSV (fig. 9), leur utilisation complète restitue une première signature de l'intégration. A notre grande surprise tous les génomes des bananiers *M. balbisiana* utilisés et correspondant à une 20^{ème} d'individus non seulement présentaient des eBSV pour les 3 espèces mais montraient un polymorphisme d'intégration très fortement réduit. De plus, les allèles infectieux pour eBSOLV et eBSGFV apparaissent prédominants. L'arbre phylogénétique *M. balbisiana* de la distribution eBSGFV et eBSIMV montrant une diversité génétique faible de l'espèce a été obtenu au cours de **la thèse de Philippe Gayral** et ont fait l'objet d'une publication [ACL-FI 11].

Nous avons alors complété l'approche méthodologique des structures eBSV au cours de **la thèse de Pierre-Olivier Duroy** par des analyses Southern blots après digestion de l'ADN total. Les zones d'intégration dans le génome *M. balbisiana* étant systématiquement conservées, des enzymes de restriction ont été sélectionnées pour couper les eBSV de PKW en donnant des patterns interprétables. Nos résultats montrent que les bananiers *M. balbisiana* disponibles et représentant la diversité mondiale présentent des signatures eBSV similaires témoignant d'une base génétique étroite et/ou d'une conservation forte des structures (fig. 11). La distribution des eBSV est strictement restreinte au génome B et positionne leur intégration comme récente, après la spéciation *M. acuminata*/*M. balbisiana* et avant la diversification des *M. balbisiana* (* fig. 11).

Sur la base de ces descriptions et données nous avons proposé un modèle simplifié retraçant l'histoire des intégrations et fixations virales au sein des populations ancestrales diploïdes *M. balbisiana* pouvant expliquer l'image actuelle eBSV du génome PKW [ACL-FI 7]. Ce scénario (fig.12) propose que la fixation des BSV soit la conséquence d'un contexte épidémique fort et endémique à la zone d'origine de l'espèce *M. balbisiana* ayant permis aux bananiers *M. balbisiana* fertiles de résister à une infection virale destructrice. Le noyau des cellules, fortement infecté, était facilement perméable aux génomes viraux. Les intégrations présentes dans le noyau des cellules germinales ont permis la transmission à la descendance. Nous avons fait l'hypothèse que le maintien d'allèles eBSV infectieux était lié à la mise en place d'une résistance au BSV. Leur fixation par la suite dans les populations de bananier témoignerait d'un avantage sélectif face aux épidémies. Cependant ces intégrations capables de produire du virus restaient une contrainte forte pour la plante qui devait les neutraliser. Les plantes sélectionnées montrent ainsi un statut homozygote obtenu par autofécondation et différentes modifications génomiques telles que des mutations ponctuelles, des duplications et réarrangements en hairpin des structures actuelles. Au cours de l'évolution des bananiers, les plantes sélectionnées devenant résistantes, les épidémies ont progressivement disparues. La photo actuelle des eBSV des espèces OL, GF et IM montre des structures différentes traduisant des fixations séquentielles de chaque espèce BSV au cours de l'évolution. Ainsi, la structure eBSOLV qui est la plus réorganisée et la moins conservée

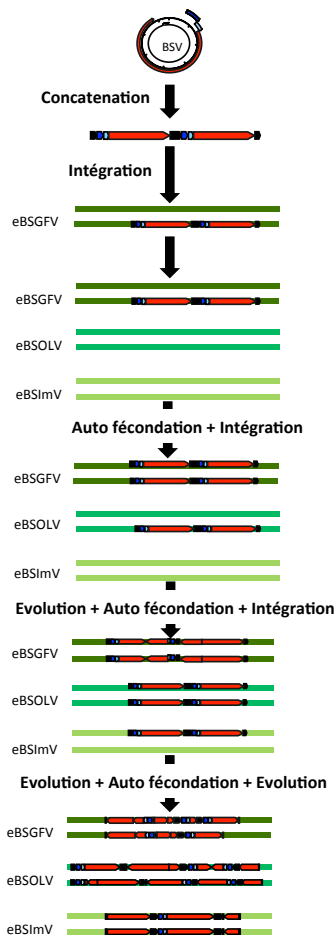


Figure 12 : Scénario d'intégration et fixation des BSGFV, BSOLV et BSImV dans le génome *M. balbisiana*. Suite à une infection, la multiplication virale produit des concatémères de génomes viraux dans le noyau des cellules hôtes. Ce type de génome est alors intégré dans celui de PKW par recombinaison illégitime. Les 3 espèces BSV ont été intégrées séquentiellement. Suite à une intégration l'état homozygote est obtenu par autofécondation et sélectionné. Entre chaque nouvelle intégration et autofécondation, les eBSV précédemment fixés continuent d'évoluer (mutation ponctuelle, duplication ...) jusqu'à l'image observée aujourd'hui.

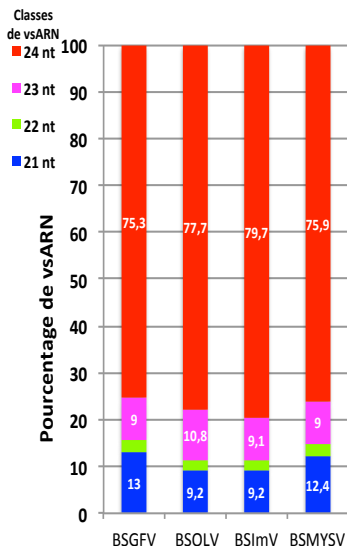


Figure 14 : Classes de small ARN viraux (vsARN) chez PKW. Les alignements sont réalisés dans le cadre d'une identité parfaite.

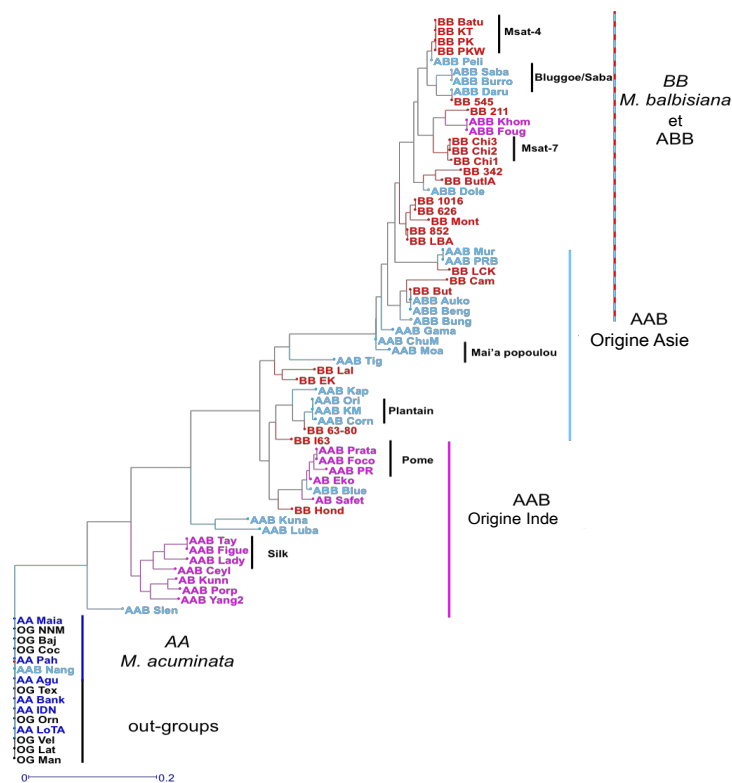


Figure 13 : Structuration *Musa* utilisant les eBSV comme marqueurs de phylogénie (analyse de Neighbor joining).

La dissimilarité utilisée est la somme pondérée des dissimilarités calculées séparément pour eBSGFV, eBSOLV and eBSIMV. Un code couleur des accessions selon leur génotype et leur origine géographique est utilisé. Les barres noires indiquent les sous-groupes selon Gayral et al. (JVI, 2010) pour les accessions de génotypes BB et selon Perrier et al (Eth Res App, 2009) pour les hybrides de génotypes AAB, ABB et AB. Les bootstraps n'ont pas été estimés pour cette analyse.

au sein des génomes B serait la première à avoir été fixée et en cours de pseudogénéisation. La structure eBSGFV serait la suivante car elle présente deux allèles réorganisés relativement proches, conservés dans tous les génotypes, et pour lesquels nous avons pu montrer qu'il y avait une sélection positive de l'allèle infectieux dans les génomes B [ACL-FI 11]. Enfin, eBSIMV a une structure peu réorganisée, proche d'un génome viral linéaire et est certainement la plus récente fixée ce qui expliquerait qu'elle n'ait qu'un allèle infectieux et soit la seule absente de trois génotypes BB. L'eBSGFV étant intégré dans le retrotransposon à LTR de type Ty3/Gypsy nous a permis d'estimer la datation de retrotransposition à 640 000 ans et celle de l'eBSV juste après. L'histoire évolutive des badnavirus du bananier intégrant ces eBSV a fait l'objet de deux publications [ACL-FI 3, 2].

► Distribution des intégrations virales pour les 3 espèces BSV au sein des *Musacées*

Conscients de la diversité génétique limitée de l'espèce *M. balbisiana*, nous avons tenté de l'enrichir en introduisant dans notre analyse des hybrides interspécifiques (AB, ABB, AAB) possédant certainement des ressources B non collectées ou ayant disparues. Ces hybrides étaient également représentatifs des zones de sympatrie *M. acuminata*/*M. balbisiana*, correspondant aux deux centres d'origine de la diversité des hybrides naturels interspécifiques localisés en Inde et en Asie de l'Est allant des Philippines à la Nouvelle Guinée. Nous avons inféré un arbre phylogénétique à partir de la phylogénie *M. acuminata* existante en intégrant notre échantillonnage dont les diploïdes BB, puis extrait la partie correspondante à notre étude. L'analyse du polymorphisme d'intégration a été conduite en utilisant une matrice de dissimilarité créée à partir de codification des données obtenues par PCR et Southern blots comme précédemment décrit et en générant un dendrogramme par la méthode NJ, correspondant à l'analyse simultanée du polymorphisme des trois eBSV (fig. 13) [Duroy et al, soumise]. La structuration *Musa* ancrée sur l'espèce *M. balbisiana* obtenue utilise les eBSV comme des marqueurs de phylogénie. Elle met en lumière pour la première fois des liens entre *M. balbisiana* et des hybrides interspécifiques et permet ainsi d'assigner pour la première fois des génomes B à des zones géographiques.

► Maintien des eBSV au sein des *Musacées* coût/bénéfice

Dès le début du projet la question de l'intérêt pour le bananier en termes de coût/bénéfice du maintien des eBSV s'est posée. En effet, il existe un paradoxe à conserver des séquences virales infectieuses dans le génome bananier en regard de la contrainte avérée de les voir déclencher une infection. Chez les bananiers diploïdes *M. balbisiana* PKW comme Pisang Batu, **Fabrice Lheureux au cours de sa thèse** avait montré leur résistance à l'infection virale par cochenille vectrice et la CIV qu'elle qu'en soit respectivement l'origine BSV ou eBSV. Les structures eBSV, inversées répétées, pouvant générer des boucles (hairpin) et des ARN abérents suite à des transcriptions, ajoutées à leur localisation génomique à proximité ou au sein d'ET sont autant de faisceaux de présomptions favorables à des mécanismes de régulation épigénétique. La **thèse de Pierre-Olivier Duroy** a donc été l'occasion de tester l'hypothèse d'une résistance constitutive de type ARN interférent (ARNi) en recherchant la présence de petits ARN viraux (vsARN) chez PKW puis au sein des bananiers *M. balbisiana*.

L'analyse, a fait appel à du séquençage haut débit de petits sARN par NGS couplé à une approche northern blot. Les données ont très clairement montré la présence de petits ARN viraux (vsARN) chez ce **bananier sain** dont la production était **structure eBSV-dépendante**. En effet, les vsARN ne sont produits qu'à partir des séquences virales endogènes répétées et inversées. La structure réarrangée de chacun des eBSV induit la formation des ARN double brin abérents à l'origine de la production massive de vsARN de 21 à 24nt chez PKW (fig. 14 et 15). L'analyse de la taille des vsARN produits indique également une régulation transcriptionnelle(TGS) des eBSV avec une majorité de 24nt. Les données obtenues chez PKW montrent que les quantités de vsARN produits varient du simple au triple en fonction de l'eBSV concerné, l'eBSIMV générant le plus de vsARN. Nous avons interprété cette observation comme lié à la nécessité pour la plante de contrôler

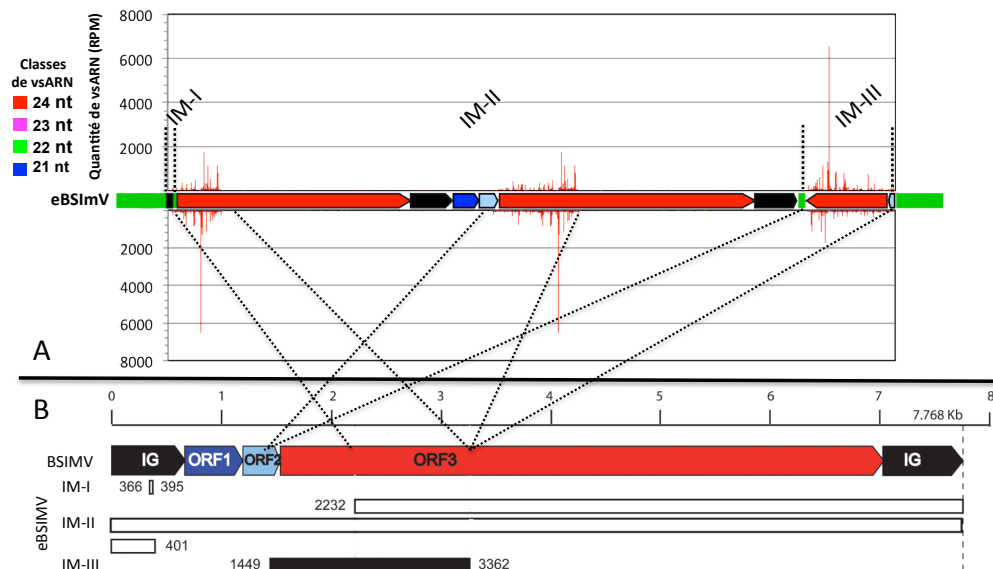


Figure 15 : Production des vsARN chez PKW dépendant de la structure eBSV.

A : eBSIMV est divisé en 3 fragments (IM-I à IM-III). Chacun étant une séquence virale de même orientation. Les alignements de séquences des vsARN avec la séquence eBSV sont réalisés dans le cadre d'une identité parfaite et prennent en compte les répétitions de séquences observées chez l'eBSV. Les vsARN sont répartis sur la séquence eBSIMV et sont situés au dessus pour une orientation sens et en dessous pour une orientation anti sens. Leur quantité est exprimée en RPM (Reads par Million).

B : Position des fragments de l'eBSIMV sur le génome BSIMV linéaire. Les blocs en dessous du génome viral représentent les fragments (IM-I à IM-III) de l'eBSIMV en orientation sens (blanc) ou anti sens (noir). Les coordonnées indiquent les extrémités des fragments de l'eBSV en référence au génome viral. Les pointillés verticaux délimitent la seule zone inversée-répétée présente dans l'eBSIMV pour laquelle on enregistre les vsARN.

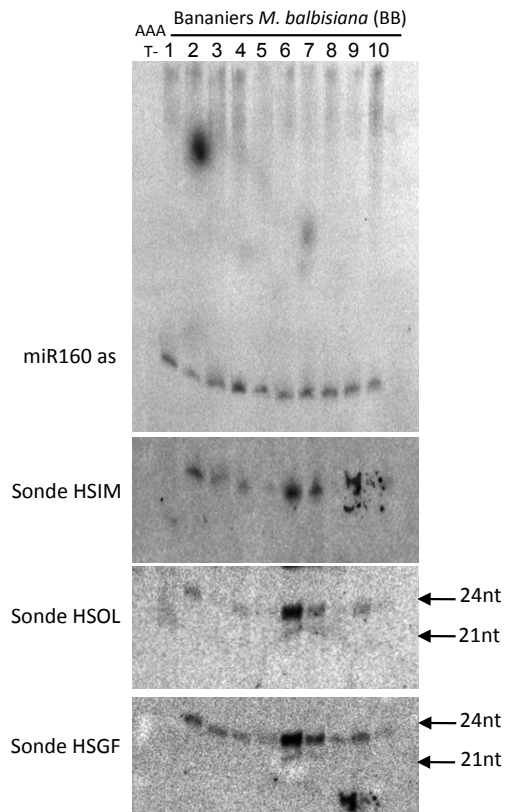


Figure 16 : Analyse des vsARN chez les bananiers *M. balbisiana* diploïdes (BB).

Les membranes sont hybridées successivement avec mir160 (antisens) puis avec un mélange de sondes des régions « hot spot » de l'eBSIMV (HSIM), de l'eBSOLV (sondes HSOL) et de l'eBSGFV (sonde HSGF) identifiées chez PKW.

des séquences d'intégration récente, peu réarrangées et proche d'un génome viral linéaire, contrairement à des séquences d'intégration plus anciennes en cours de pseudogénisation telles que celles de BSOLV ou BSGFV.

Nous avons voulu ensuite vérifier si l'observation d'une absence d'infection virale des génotypes BB était également liée à une régulation de type ARNi. Des sondes correspondant à des régions « hot spot » cibles de production de vsARN chez PKW ont été désignées afin de rechercher chez les bananiers diploïdes *M. balbisiana* la présence de vsARN par northern blot. Tous ces bananiers ont montré pour les 3 eBSV des vs ARN indiquant une conservation du mécanisme de régulation épigénétique de type TGS.

En parallèle, nous avons montré que les bananiers infectés et non-porteurs d'eBSV semblent réguler de manière similaire la multiplication virale quelque soit l'espèce BSV concernée ayant ou pas des correspondances eBSV. Des vs ARN de 21nt sont produits principalement depuis une zone allant de la fin de la zone intergénique jusqu'au début de l'ORF3. Cela suggère une régulation post-transcriptionnelle (PTGS) des espèces BSV.

L'ensemble de ces résultats indiquent que le bananier utilise des mécanismes différents mais complémentaires pour d'une part limiter l'invasion du génome par des séquences parasites telles que les eBSV, et d'autre part contrôler et réguler l'infection virale. Les premiers font en effet appel à la pseudogénisation impliquant l'inversion et fragmentation du génome viral comme à l'accumulation de points de mutation responsables de codons stop ou de décalages de cadre de lecture, ainsi qu'à la production de vsARN.

➔ **Changement de paradigme et « succes story » pour la création variétale**

Toutes ces connaissances accumulées ont permis de restituer une image relativement complète de l'interaction complexe BSV/bananier pour proposer des actions permettant de ré-investir en création variétale utilisant le génome B.

Ainsi, nous avons généré des marqueurs fiables et robustes que nous avons validés tant sur des populations d'hybrides dont les génotypes eBSV parentaux étaient connus que sur la diversité non caractérisée des hybrides interspécifiques, et montré leur potentiel en tant que marqueur de phylogénie. Les collègues de Guadeloupe, généticiens et virologue, se sont appropriés ces marqueurs et ont développé des stratégies d'amélioration des géniteurs diploïdes BB. Ils ont d'ores et déjà obtenu des diploïdes désarmés car possédant des allèles non infectieux ou dépourvus d'eBSV tout en ayant du génome B par auto-fécondation et ségrégation des allèles eBSV.

Dans un même objectif, **la thèse de Guy Noubissié** a abordé la question de redistribution des chromosomes B à la méiose chez les hybrides interspécifiques triploïdes nouvellement créés. Il a montré que les eBSV se comportaient comme des marqueurs génétiques et pouvaient être utilisés au même titre que les microsatellites mais limité à seulement deux chromosomes sur les 11 totaux. Ils ont néanmoins permis de montrer et d'évaluer le degré de recombinaison entre génome A et B ainsi que d'observer que ce mécanisme générait des hybrides interspécifiques ayant de génome B nettoyé des séquences eBSV.

Aujourd'hui force est de constater que la stratégie du Cirad a payé et, 15 ans après l'alerte BSV, le Cirad se trouve en position de leader en création variétale du bananier.

B- Perspectives

L'adage qui dit « pour vivre heureux, vivons caché » pourrait s'appliquer à ce couple si particulier que forme le BSV et le bananier et qui a mobilisée mon attention ces dernières années. Leur interaction étroite qui repose sur un juste équilibre ne laissant pas de place à des épidémies dévastatrices apparaît comme le résultat d'une évolution commune qui aurait pu rester encore longtemps méconnue. En effet, c'était sans compter sur la main de l'homme et les besoin de création variétale qui ont été il y a une 20^{ème} d'années comme autant de forces évolutives aboutissant à la ré-émergence du BSV jusqu'à lors toujours présent en foyers limités, mais discret au cours de la culture de la banane.

Nous avons observé que ce virus, qui n'a aucune obligation à intégrer le génome de sa plante hôte au cours de son cycle multiplicatif a aujourd'hui deux formes virales participant aux infections : une forme épisomale (BSV) et une forme endogène (eBSV) au génome B des bananiers, toutes deux résultant d'une relation équilibrée tissée aux cours de milliers d'années entre le bananier et le virus. Pour autant que nous ayons tenté de répondre à la question de l'origine et de l'interaction/relation de ces deux formes virales au travers de nos études de distribution et de diversité au sein de *Musa*, force est de constater qu'il existe un paradoxe à conserver des séquences virales infectieuses dans le génome bananier en regard de la contrainte avérée de les voir déclencher une infection.

Comme je l'ai mentionné précédemment, les connaissances de virus de plante endogènes au génome hôte étaient inexistantes en début de projet. Ben Lockhart a été le premier en 1992 à proposer l'hypothèse d'un génome viral intégré au génome de la plante hôte comme origine des infections spontanées observées (Lafleur et al., 1996). Hypothèse qui fut jugée totalement farfelue par la communauté scientifique et rejetée. Ce n'est pas moins de 7 années plus tard qu'il publia une partie de l'intégration de l'espèce OL dans le génome du bananier Obino l'Ewai (AAB) confirmé par les travaux d'hybridation *in situ* conduit par Glyn Harper sur des fibres de chromosomes étirés (Ndowora et al., 1999 ; Harper et al., 1999). Ces travaux ont été les premiers à caractériser en partie une séquence concernant un pathosystème actif, bien que des séquences virales dites « mortes » aient été identifiées dans les génomes des premières plantes séquencées à la même période (Jakowitsch et al., 1999).

Nos travaux conduits par la suite durant toutes ces années se sont donc attaqués à une problématique peu explorée et dont les seules références étaient les éléments transposables (ET) pour lesquels peu de données existaient quant à leur régulation et impact sur le génome hôte. Les eBSV, sont aujourd'hui de fait à considérer sous l'angle d'une séquence étrangère que l'hôte régule comme les ET, plutôt que comme une séquence virale active comme cela a pu être le cas suite à son intégration qui a abouti à sa fixation dans le génome bananier certainement par sélection. De plus, au delà de l'intérêt scientifique d'éclairer un type d'interaction original et peu décrit en abordant ces questions, il restait essentiel de les comprendre en vue d'utiliser en toute sécurité des bananiers naturels ou issus de création variétale ayant des génomes B. En effet, la culture intensive de bananier plantain (AAB) est une des options retenue pour répondre à la crise alimentaire tout en augmentant le revenu du paysan tant en Afrique qu'en Amérique latine. Face à des changements climatiques importants et des modes de culture intensifs de bananiers qui ont des eBSV infectieux dans leur génome, un risque avéré d'augmentation permanente du niveau d'inoculum primaire BSV et d'émergence d'épidémie existe. Ce risque aujourd'hui n'est toujours pas renseigné de manière à prendre les mesures adaptées.

Dans un tel contexte peu informatif et face à la diversité et complexité des structures eBSV, il m'est apparu rapidement indispensable de considérer le pathosystème BSV/bananier dans sa globalité. J'ai donc utilisé les réflexions et travaux que nous conduisions au sein du groupe pour faire des propositions schématiques permettant de retracer l'histoire évolutive commune du BSV et du bananier [ACL-FI 2] et plus largement celle des badnavirus et *Musa* sp. [ACL-FI 3]. Les perspectives de mon travail, comme celles du projet d'équipe que je

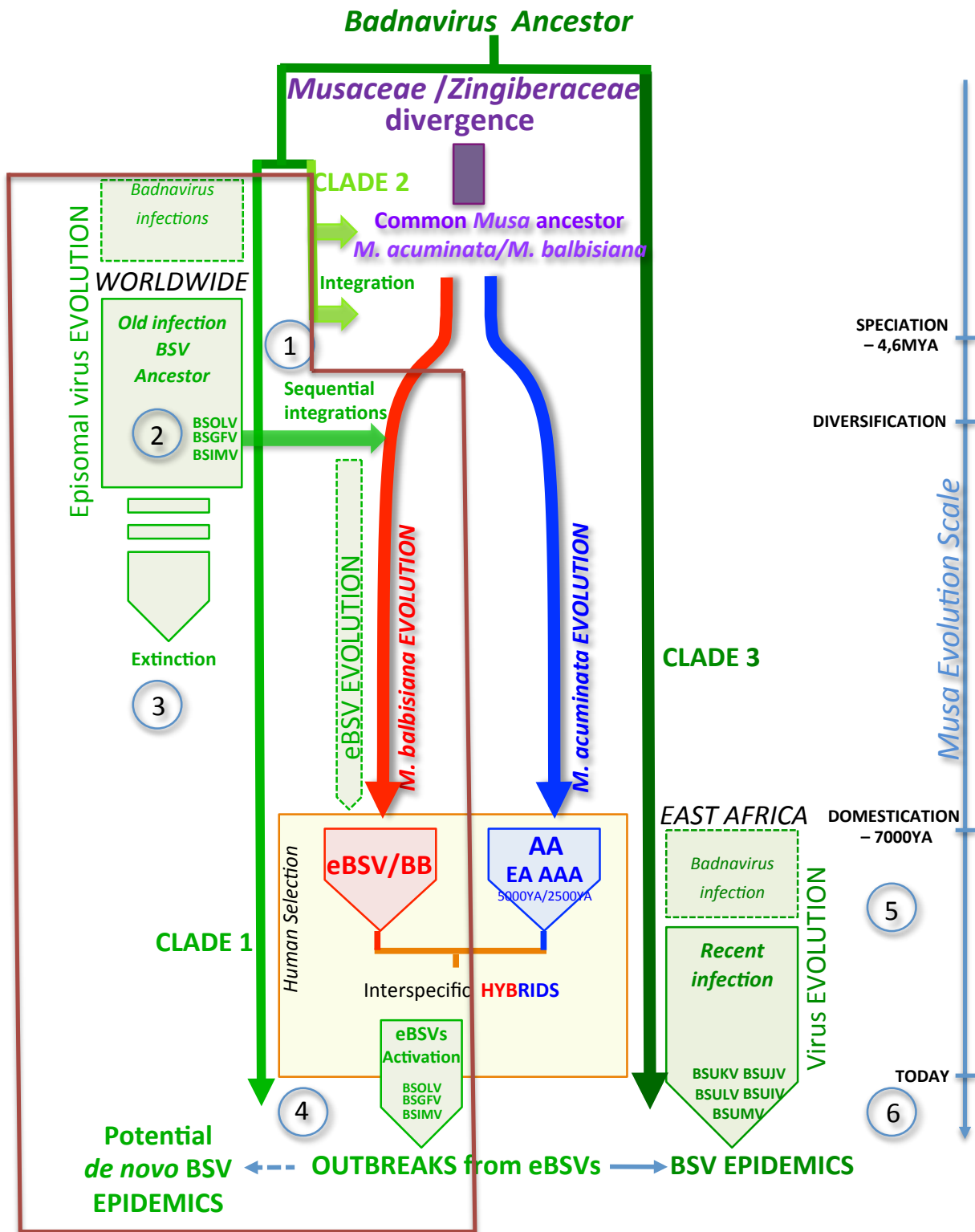


Fig. 17: Modèle de co-évolution entre BSV et bananier.

BSV clade 1 et bananier (cadre rouge) ; badnavirus et bananier (globalité du schéma)

L'évolution des *Musaceae* est en violet et devient bleue et rouge pour représenter la spéciation et l'évolution des espèces *M. acuminata* et *M. balbisiana* respectivement. Le genre badnavirus et BSV sont en vert. Les flèches verticales représentent l'évolution des badnavirus épisomaux, pendant que les horizontales indiquent les évènements d'intégration dans les génomes bananiers ou les échappées des génomes (activation/réveil eBSV). Les flèches en pointillées horizontales indiquent des échappées virales possibles et les verticales le processus de pseudogénéisation eBSV dans le génome bananier. Les cadres verts en pointillés représentent les infections à badnavirus et les autres cadres les infections BSV. Les cadres jaunes représentent les étapes de domestication et sélection humaine. Les nombres renvoient aux explications pour chaque étape, données dans la conclusion de l'article [ACL-FI 2].

dirige, y sont adossées (fig. 17) et ont comme finalité de générer des données permettant la culture intensive de bananiers hybrides ayant des génomes B, selon les agrosystèmes et les géotypes bananiers considérés avec un risque limité voir nul.

1- Retracer l'histoire évolutive du BSV (fig. 17 point 1 -2 -3)

➔ eBSV et *Musa balbisiana*

Suite au constat actuel d'absence d'épidémies virales, associé à un possible intérêt pour la plante de conserver des séquences virales (eBSV) à risque, nous avons proposé une interaction basée sur le mode « **course à l'armement** » à l'origine de la présence des intégrations virales dans les génomes *M. balbisiana* diploïdes (fig. 17 point 1). Ces intégrations auraient permis de lutter contre les virus libres environnants aboutissant à une résistance virale acquise au cours du temps pour les populations bananier comme seule explication possible au maintien de ces séquences virales endogènes (fig.17 point 2 et 3). Dans le cas du bananier et des génomes diploïdes BB, nous avons testé et validé l'hypothèse d'une résistance basale utilisant des régulations réversibles épigénétiques, mise en place durant la co-évolution du virus et du bananier (**thèse de P.-O. Duroy**) et démontré la présence systématique de vsARN séquence eBSV dépendante.

Dans un même temps, les eBSV constituent un paradoxe évolutif intéressant car le bananier est un des trois pathosystèmes connus qui conserve dans son génome B des séquences virales pouvant impacter sa fitness. Mais quant est-il des hybrides interspécifiques ayant deux génomes ou un génome B (ABB, AAB, AB) représentant un paradoxe entre résistance et infection spontanée. Sont-ils le résultat **d'une dérive génétique facilitée par les goulôts d'étranglement** lors de la **domestication** des bananiers il y a 7000 ans, ou le résultat **d'une sélection naturelle sous contrainte sélective** ? Quel avantage a eu et continu d'avoir le bananier en possédant des intégrations virales infectieuses dès lors que les contraintes environnementales comme les pressions épidémiques n'existent pas ? Et comment expliquer que ce virus présent dans toutes les zones de culture et induisant des symptômes pouvant aller jusqu'à la mort du cigare et du bananier, ne soit pas à l'origine d'épidémies massives.

L'origine de la fixation du virus dans le génome bananier reste de fait un des éléments clé à documenter. Nous avons pu estimer la fixation des 3 espèces BSV étudiées dans les populations diploïdes *M. balbisiana* après la spéciation *M. acuminata*/*M. balbisiana* et avant la diversification *M. balbisiana* il y a environ 640 000 ans [ACL-FI 11], et fait l'hypothèse qu'elle était le résultat d'un avantage sélectif pour ces bananiers fertiles. Rien n'est connu de l'incidence passée et surtout actuelle des dynamiques de populations des BSV et/ou des virus ancêtres dans les zones et écosystèmes naturels d'origine de l'espèce *M. balbisiana* (Chine, Népal, Birmanie, Laos, Vietnam), ni des possibles routes de propagation au travers de la dissémination des espèces bananiers sauvages. L'incidence virale n'est également pas connue dans les deux principales zones de sympatrie entre *M. acuminata* et *M. balbisiana* situées en Asie du Sud Est, et aux frontières de la Chine avec l'Inde.

Je propose de m'intéresser aux populations virales sources en recherchant dans un premier temps les espèces BSV connues dans un échantillonnage de bananiers sauvages provenant des écosystèmes naturels identifiés précédemment (aires natives, nouvellement colonisées, herbiers etc..) et incluant des plantes autres que le bananier. Une analyse badnavirus sans a priori (approche métagénomique) de la diversité virale de type BSV de ce même échantillonnage permettra de renseigner sur l'existence de virus ancêtres BSV inconnus et encore présents sur bananier et/ou sur d'éventuelles plantes alternatives. Des analyses phylogénétiques permettront de renseigner sur les liens génétiques avec les espèces virales déjà décrites et d'alimenter l'histoire évolutive du BSV. Les données générées permettront d'accéder au microbiome existant et d'identifier les changements écologiques et évolutifs impliqués. Elles pourront également être intégrées à des modèles prédictifs théoriques visant à simuler l'émergence ou la non-émergence d'une épidémie virale.

➤ Réalité d'eBSV infectieux chez *M. acuminata*

Nous avons montré que la diversité des séquences badnavirus identifiées chez *Musa* étaient structurées en trois clades [ACL-FI 3 et 13]. Le clade 1 rassemblent les BSV décrits mondialement et parmi lesquels 4 espèces (BSOLV, BSGFV, BSIMV et BSV espèce mysore-MY) ont des équivalents eBSV infectieux colonisant exclusivement le génome B. Ce clade regroupe des BSV qui partagent des histoires évolutives communes ce qui peut interroger sur l'existence dans les génomes A d'équivalent eBSV comme trouvés dans les génomes B. Nous avons identifié l'espèce Vietnam (BSVNV) intégrée pour partie au génome *M. acuminata* de nombre bananiers de la collection CIRAD de Guadeloupe (**DEA Anne-Sophie Dielen**) et dernièrement infectant des bananiers locaux à Cuba (Javer-Higinson et al., 2013). Etant donné l'absence d'épidémie BSVNV à Cuba comme ailleurs, la question d'une origine endogène au génome A se pose et pourrait être confirmée. Plus largement une telle question serait à confirmer pour les autres espèces du Clade I, attestant d'une évolution comparable impactée par l'hôte bananier, dans ce cas lié à l'espèce *M. acuminata*.

➤ Vitesse d'évolution des populations BSV

Une partie du travail de **P. Gayral** au cours de sa thèse a montré que les eBSV participent activement à la restitution des BSV observés lors d'infection spontanées [ACL-FI 13] ce qui modifie de fait le référentiel évolutif du virus car il semblerait même qu'il en soit la source majoritaire de production, aucune épidémie n'étant observée/déclarée à travers le monde. Il est difficile dans ces conditions de définir la vitesse d'évolution de populations virales BSV lors d'infections naturelles. Néanmoins, des observations récentes en République Démocratique du Congo ont montré, dans des agrosystèmes paysans, l'existence de transmissions BSV importantes et anciennes à des bananiers n'ayant pas d'eBSV dans leur génome à partir de foyers BSV d'hybrides naturels AAB. L'analyse et caractérisation de ces populations virales naturelles seront réalisées et les conditions écologiques favorables à l'établissement de ces épidémies comme le niveau de pullulation des cochenilles vectrices ainsi que la date présumée d'émergence devront être précisées. Des recherches de propagation à partir de foyers épidémiques dans d'autres pays d'Afrique ayant des conditions de cultures similaires seront réalisées comme en Côte d'Ivoire, Bénin et Congo Brazza. La comparaison de sites écologiques différents permettra d'identifier les niches favorables à une émergence et propagation de virus à partir de cultivars naturels. Des expérimentations permettant de tester différents niveaux d'inoculum viral et les capacités vectrices des cochenilles seront programmées. Ces données viendront implémenter les modèles prédictifs théoriques épidémiologiques.

2- Retracer l'histoire évolutive *Musa*

➤ eBSV marqueur de phylogénie *Musa* : linéages diploïdes *M. babisiana* et hybrides interspécifiques

La connaissance de la phylogéographie des hybrides interspécifiques et des hybrides *M. acuminata* pour autant qu'elle soit bien documentée ne permettait pas jusqu'à présent d'identifier des liens phylogéniques avec les diploïdes *M. balbisiana*. Nous avons montré que les eBSV pouvaient être des marqueurs de phylogénie en étant des traces fossiles d'intégrations conservées au sein de la diversité *Musa* et pour la première fois montré des linéages possibles entre BB et ABB/AAB. L'intérêt est tout particulier pour le groupe plantain par exemple qui rassemble des bananiers présentant peu de diversité faisant penser à une propagation végétative clonale et qui ont tous les allèles eBSV infectieux pour les espèces OL et GF pour autant qu'ils n'hébergent pas l'espèce IM. L'utilisation de géniteurs diploïdes BB proches des plantains va pouvoir être envisagée par exemple pour de la création variétale orientée et obtenir des hybrides possédant les mêmes caractéristiques agronomiques et gustatives avec des allèles eBSV désarmés. Dans ce contexte, une partie de mon activité va consister dans un premier temps à établir les signatures eBSV pour un plus grand nombre d'hybrides que ceux utilisés dans le cadre de la thèse de **P.-O. Duroy**, en intégrant également les génotypes bananiers collectés dans les aires d'origines analysés pour les sources virales. Cela vise à vérifier à plus grande

échelle si la répartition eBSV respecte bien les groupes phylogénétiques établis ayant jusqu'à présent une emphase forte *M. acuminata*. Ce travail devrait contribuer à établir une phylogénie *Musa* plus fine et complète notamment d'un point de vue phylogéographie. La découverte de séquences badnavirales neutres colonisant le génome *M. acuminata* du bananier Pahang suite à son séquençage (D'Hont et al., 2012) et les travaux de l'équipe sur la clarification du statut intégré de la plupart des séquences badnavirales générées sur bananier ouvrent la voie par la suite à des études à plus large échelle d'utilisation des virus intégrées comme marqueurs de phylogénie des plantes. Ce travail sera réalisé en association étroite avec mes collègues du Cirad qui ont les mêmes problématiques.

► **Réalité et explication d'une sélection positive des allèles infectieux**

Les études que nous avons menées sur l'évolution moléculaire de fragment répétés au sein d'un allèle eBSV et entre allèles chez PKW nous ont montré que les taux d'évolution étaient faibles par rapport aux BSV libres. Ces informations ne renseignent cependant pas sur l'évolution et/ou le contexte d'évolution des eBSV ni de répondre aux questions **de sélection positive** ou **de dérive génétique** que nous avons. (fig.7 point 1 et 2).

P. Gayral au cours de sa thèse a montré une sélection positive pour les diploïdes fertiles des allèles eBSV infectieux. Ainsi l'eBSV de l'espèce GF bien qu'ayant deux allèles montre une identité entre allèles très forte. Une étape de recombinaison de l'allèle eBSGFV-9 non infectieux permet d'obtenir la structure de l'allèle eBSGFV-7 infectieux, et se sont des mutations ponctuelles qui sont à l'origine de l'absence d'infectiosité. Cet exemple indique que le contrôle par la plante de l'expression des eBSV pour autant qu'il soit le résultat en premier lieu d'une mécanique générique permettant la mise en place d'une défense constitutive, est certainement adaptée aux zones d'intégration dans le génome bananier : hétérochromatine versus euchromatine. BSOLV intégré ailleurs sur le même chromosome présente des structures alléliques plus fortement modifiées que de simples mutations. Dans le cas de l'eBSGFV, nous avons proposé que suite à une inactivation rapide de l'intégration hémizygote par duplication en obtenant un statut homozygote, seule les mutations ponctuelles pouvaient annuler l'infection BSV sans impacter la fitness de la plante. Ceci serait vraisemblablement lié à la zone d'intégration sur un chromosome essentiel pour le bananier. Le peu d'intégrations BSV fixées dans le génome B du bananier en témoigne comme le maintien de deux type d'eBSV sur le même chromosome. Ces observations peuvent expliquer le résultat de sélection positive de l'allèle infectieux que l'on observe qui ne serait qu'un artéfact lié à notre référentiel d'analyse sur un nombre de bananier restreint et peu diversifié, une sélection positive des allèles infectieux pour les espèces OL et IM n'ayant pas été retrouvée.

Les lignées identifiées au travers des traces fossiles eBSV (**Thèse de P.-O. Duroy**) seront exploités pour enrichir et orienter notre échantillonnage avec des individus utiles pour conduire **des études de vitesse d'évolution** des eBSV et incluant des hybrides interspécifiques. Pour cela, j'envisage de finaliser le travail abordé **lors des thèses de P. Gayral et P-O Duroy** et après séquençage des parties répétées et spécifiques des eBSV des haplotypes d'une sélection d'individus, de les comparer avec des séquences de gènes (sous pression de sélection) et d'intron (sous sélection neutre) du bananier situées à proximité. Les séquences eBSV analysées intégreront bien évidemment les zones fortement productrices de vsARN afin de voir si la nature de la voie épigénétique mise en place (TGS/PTGS) peut avoir eu une influence en termes de sélection. Le choix des génotypes bananiers pour conduire cette étude est essentiel et intégrera la diversité observée tant génétique que géographique et biologique, associant allèles eBSV infectieux et non infectieux, conservés avec des mutations et fortement dégénérés ainsi que des bananiers ayant ou pas d'infection déclarée. Le but visé est d'avoir des référentiels permettant une interprétation évolutive fiable. Le résultat de ces analyses devrait permettre de statuer sur l'intérêt du maintien de ces séquences et de leur structure pour la conservation des mécanismes de régulation et de défense observée chez le bananier et compléter l'histoire évolutive de la plante.

3- Les épidémies BSV : fiction ou réalité (fig. 17 point 4)

Comment expliquer malgré tout l'absence d'épidémies dans toutes les zones de cultures, autrement que par des hypothèses de faible mobilité, taux de transmission et population de cochenilles réduits ? Nos résultats sur la régulation des eBSV au cours de l'évolution (**Thèse P.-O. Duroy**) montrent bien l'existence d'un mécanisme épigénétique séquence/structure eBSV dépendante de type TGS comme explication à la résistance constitutive à l'infection des bananiers diploïdes fertiles. De plus, nous retrouvons une conservation forte des signatures eBSV PKW pour les hybrides interspécifiques ayant deux génomes B laissant supposer un même phénotype. Par la suite, l'analyse du polymorphisme d'intégration eBSV chez les hybrides interspécifiques ayant un seul génome B indiquent qu'en majorité ils possèdent des allèles dégradés voire pas d'eBSV du tout pour au moins une des espèces BSV.

Néanmoins, comment expliquer alors la réalité d'une infection qui semble cependant mesurée, à partir d'hybrides naturels ayant des allèles infectieux sans perturber leur culture ? Nous avons observé systématiquement pour les trois types d'eBSV chez PKW (BB) une régulation certe majoritaire par des vsARN de 24nt mais également la présence de vsARN de 21nt. Nous avons interprété cette observation comme le témoignage d'un mécanisme de régulation réversible dose dépendant permettant un contrôle utilisant la méthylation du génome mais également la voie PTGS en cas d'infection externe. De plus, nous avons montré que les plantes *M. acuminata* sans intégration régulaient la multiplication virale lors d'une infection BSV par PTGS, sans pour autant que cela n'aboutisse à l'élimination totale du virus [ACL-FI 1]. Ces observations renforcent notre analyse du maintien de telles structures eBSV complexes qui permettent la formation de hairpin garantissant un contrôle de leur expression par la plante dans des régions du chromosome ne pouvant être éliminées sans dommage pour la plante.

Une première approche va consister à rechercher dans les hybrides interspécifiques sélectionnés une production de vsARN et le cas échéant leur caractérisation selon le génotype eBSV et le nombre de génome B. Une fois établi, il sera intéressant de tester la réversibilité du système par des inoculations par cochenilles vectrices d'espèces BSV ayant ou pas de correspondance eBSV. Ainsi les hybrides ayant un seul génome B qui échapperait à un contrôle strict de leur génome par méthylation (TGS) permettant une multiplication virale, seraient en mesure de la réguler via la voie PTGS afin qu'elle n'impacte pas leur croissance.

La deuxième approche reposera sur l'observation et l'analyse au champ de bananiers hybrides naturels ayant des eBSV infectieux quant à leur capacité à développer une infection spontanée. Nous analyserons la cinétique d'infection sur plusieurs cycles de culture. Les études vont s'attacher à rechercher des régulations épigénétiques telles que celles décrites chez PKW pour des bananiers présentant ou pas d'infection BSV et à suivre l'évolution d'un tel mécanisme parmi ces individus et ceux issus d'un même bulbe au cours des cycles de culture. L'hypothèse testée est celle de mécanismes réversibles pour lesquels la ploïdie du génome B aurait un effet simple ou double dose en ce qui concerne la régulation eBSV, l'observation de la régulation de l'infection BSV sera également abordée en parallèle.

Ces résultats vont nous permettre d'évaluer la réalité du risque lié à la culture intensive de bananiers naturels AAB comme le plantain, d'un inoculum continu élevé de BSV. Ces données comme précédemment viendront alimenter le modèle prédictif d'émergence de maladie.

Références Bibliographiques

- Borah B.K., Sharma S., Kant R., Anthony Johnson A.M., Saigopal D.V. R., Dasgupta I. 2013 Bacilliform DNA-containing plant viruses in the tropics: commonalities within a genetically diverse group *Molecular plant* 14 (8), 759–771
- Feschotte, C., Gilbert, C., 2012. Endogenous Viruses Insights into Viral Evolution and Impact on Host Biology, vol. 13. Nature Publishing Group, pp. 283–296.
- Duran-Vila N., Roistacher C.N., Rivera-Bustamante R., Semancik J.S. 1988. A definition of citrus viroid groups and their relationship to the exocortis disease. *Journal of General Virology* 69: 3069-3080.
- Garnsey S.M., Zieslrey M., Sieburth P.J., Levy L., Hilf M.E. 2002. Practical field detection of Florida citrus viroids by RT-PCR. In: *Proc. Conf. IOCV*, 15, Riverside, CA, USA, pp. 219-229.
- Harper, G., Osuji J.O., Heslop-Harrison P., Hull R., Harper G., Lockhart B.E.L., 1999. Integration of Banana streak badnavirus into the *Musa* genome: molecular evidence. *Virology* 255, 207-213.
- Hohn T., Richert-Poggeler K.R., Harper G., Schwarzacher T., Teo C., Teycheney P.-Y., Iskra-Caruana M.-L., Hull R., 2008. Evolution of integrated plant viruses. In: Roosinck, M. (Ed.), *Plant Virus Evolution*. Springer, Heidelberg, pp. 54–76.
- Hull R., Harper G., Lockhart B. 2000. Viral sequences integrated into plant genomes. *Trends in Plants Science* 5, 362-365.
- Jakowitsch J., Mette M.F., Van der Winden J., Matzke M.A., Matzke M.J. 1999. Integrated pararetroviral sequences define a unique class of dispersed repetitive DNA in plants. *PNAS* 96,13241-13246.
- Javer-Higinson E., Acina-Mambole I., Efrain J., Font C., González G., Echemendía A.-L., Muller E., Teycheney P.-Y., 2013. Occurrence, prevalence and molecular diversity of Banana streak viruses in Cuba. *Eur. J. Plant Path.* 138 (1), 157-166.
- Lafleur D., Lockhart B., Olszewski N.E. 1996. Portions of banana streak badnavirus genome are integrated in the genome of its host *Musa* sp. *phytopathology* (supplement) 86, 100.
- Magee C.J.P. 1927 Investigation on the bunchy top disease of bananas. *Bulletin of Council for Scientific and Industrial Research in Australia*, 30, 64.
- Mette M.F., Kanno T., Aufsatz W., Jakowitsch J., Van der Winden J., Matzke M.A., Matske A.J.M. 2002 *Endogenous viral sequences and their potential contribution to heritable virus resistance in plants. the EMBO journal* 21(3), 461-469.
- Ndowora, T., Dahal G., LaFleur D., Harper G., Hull R., Olzewski N., Lockhart B.E.L., 1999. Evidence that badnavirus infection in *Musa* can originate from integrated pararetroviral sequences. *Virology* 255, 214-220.
- Thomas J.E., Dietzgen R.G. 1991 Purification, characterization and serological detection of virus-like particles associated with banana bunchy top disease in Anstralia. *Journal of General Virology* 72, 217-224.
- Wu R.Y., Su H.J. 1990 Purification and characterization of banana bunchy top virus. *Journal of Phytopathology* 128(2), 153-160